

水泥系粉喷桩加固软弱地基

田美存

徐永福

(交通部第四航务工程勘察设计院 广州 510230) (江苏省交通规划设计院 南京 210005)

关键词 粉喷桩 地基加固 复合地基 承载力 置换率

软弱地基 水泥搅拌桩

粉喷桩是利用水泥粉作为固化剂,通过特制的深层搅拌机,用压缩空气将粉体送到地基深处与软土强制搅拌,利用固化剂和软土之间产生的一系列物理-化学反应,使软土固结成具有整体性好、水稳定性好和一定强度的整体,起到加固软土的作用。其承载机理为复合地基。

1 成桩机理与适用范围

粉喷桩的成桩机理是:由深层搅拌机旋转叶片式钻头钻进地层,松动土体,钻到设计深度,在钻头反转提升的同时,由压缩空气输送水泥粉,向着通过搅拌旋转产生的孔隙部位喷出,随着钻头叶片的旋转均匀散布在整个空隙轨迹面内,进而和原位地基土搅拌混合在一起,水泥粉与土体中所含的水份及土颗粒发生一系列的物理-化学反应,从而形成桩体。

粉喷桩具有如下特点:

a. 加固成本低。由于利用了原状土,根据不同的地质条件,加入12%~20%的水泥固化剂,比其它地基加固法成本低。

b. 地基加固后,无附加荷载。对分布上海地区具有代表性的10个工程进行容重和含水量试验,统计曲线见图1和图2(这10个工程分别简称为:金桥(1)、东方路(2)、唐家浜(3)、六里桥(4)、江浦路(5)、

江宁路(6)、华山路(7)、中华路(8)、恒丰路(9)、崧宝路(10))。由图1和图2可见:固结体容重仅比原状土容重增加5%,含水量略低于原状土,约减少3%~7%。

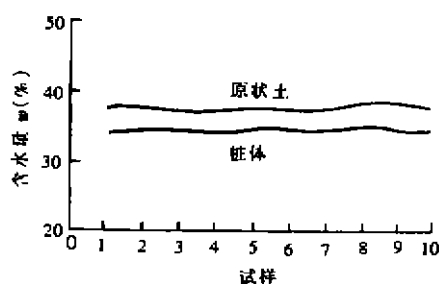


图2 含水量统计曲线

c. 桩体强度较高,其抗压强度主要与土的种类、含水量、水泥掺入比、养护龄期及外加剂等因素有关。

d. 干法施工,无需水源,不需排污,无污染。

e. 无侧向挤土问题。粉喷桩在土体中几乎不增加体积,故不产生侧向挤土。因此粉喷桩施工时,对邻近环境和设施无影响,甚至可以紧贴相邻基础施工。

f. 由于桩体是由搅拌叶片转动提升并且叶片对土产生向下的挤压作用而形成,所以桩体多为层状结构,类似于岩石中的层理现象。

g. 搅拌叶片转动时,由于离心力的作用,土粒甩向边缘,同时水泥粉由中轴一个小孔高压喷出,因此桩体边缘部分搅拌最充分,而中心部分搅拌不充分,导致成桩后中心部分强度比边缘低。

粉喷桩适用于建筑物地基加固、公路地基加固、边坡抗滑加固、深基坑边坡支护、防渗帷幕及作为海堤地基加固等。

2 设计与计算

粉喷桩加固软弱地基,其复合地基必须满足建

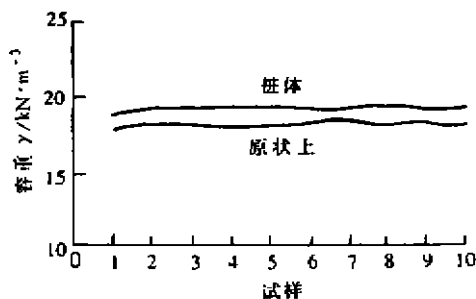


图1 容重统计曲线

第一作者简介:田美存,男,博士,工程师,从事桩基工程研究,曾发表《单桩荷载传递规律的研究》等论文。

筑物对承载力和沉降的要求。应根据工程性质及对地基的要求、拟建场地的地质条件以及室内加固土配方试验等资料,对地基的加固范围、加固深度、固化剂掺入比、桩距及桩数进行设计与计算。

2.1 复合地基承载力

复合地基承载力用下式计算:

$$R_p = a_c \frac{P_a}{A_a} + \beta(1 - a_c) R_t \quad (1)$$

式中 R_p 为复合地基承载力, kPa; a_c 为置换率, %, $a_c = nA_a/A$, n 为桩数, A 为加固区总面积, m^2 ; A_a 为单桩截面积, m^2 ; β 为桩间土容许承载力折减系数, 一般取 0.4~0.8; R_t 为桩间土容许承载力, kPa; P_a 为单桩容许承载力, kN,

$$P_a = fSL + A_a[R]$$

其中, f 为单位面积桩周土摩擦力, kPa; S 为桩的周长, m; L 为桩长, m; $[R]$ 为桩基下卧层土容许承载力, kPa。

2.2 软弱下卧层承载力验算

对软弱下卧层承载力进行验算, 受力分析如图 3 所示。验算条件为

$$(W + G - UR - A_1 R_1) / A \leq R_{t1} \quad (2)$$

式中 W 为建筑物总重, kN; G 为复合地基自重, kN; U 为假想实体基础的侧表面积, m^2 ; R 为地基土抗剪强度, kPa; A_1 为建筑物底板超出实体基础面积 A 的面积, m^2 ; R_1 为地基土抗压强度, kPa; R_{t1} 为假想实体基础底面修正后的地基容许承载力, kPa。

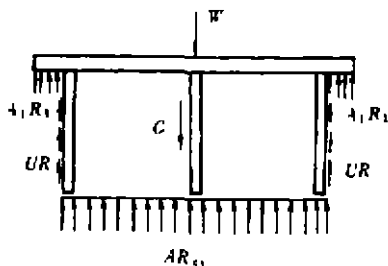


图3 下卧层验算受力示意

2.3 地基沉降计算

地基沉降计算公式为

$$s = s_1 + s_2 \quad (3)$$

式中 s 为地基总沉降量, mm; s_1 为复合地基加固区的压缩量, mm; s_2 为下卧土层的压缩量, mm。

式(3)中的 s_1 由下式计算:

$$s_1 \approx \frac{\sigma}{E_p} L \quad (4)$$

式中 σ 为地基上平均接触应力, kPa; E_p 为桩土共同作用的复合地基压缩模量, kPa。

式(4)中的 E_p 用下式计算:

$$E_p = a_c E_p + (1 - a_c) E_s \quad (5a)$$

$$E_p = [1 + a_c(m - 1)] E_s \quad (5b)$$

式中 E_s 为加固后桩间土的压缩模量, kPa; E_p 为桩体的压缩模量, kPa; m 为桩土应力分担比。

2.4 设计参数

根据 10 个工程试验结果及多年的试验实践, 宜选用如下的参数范围:

a. 从现场取得成桩桩体, 在室内进行三轴不排水无侧限抗压强度试验及不排水直剪试验可知, 水泥土固结体的无侧限抗压强度可达 1.6~2.1 MPa, 抗剪强度可取无侧限抗压强度的 1/2~1/3, 见表 1。10 个工程地层剖面见图 4。

表 1 10 个工程的试验结果

工程编号	水泥掺入比 a_0 (%)	无侧限抗压强度 R_c / MPa	抗剪强度 τ / MPa
1	16.0	1.72	0.77
2	12.5	1.60	0.80
3	12.5	1.65	0.78
4	15.0	1.81	0.75
5	16.3	1.69	0.78
6	18.5	1.90	0.72
7	19.0	1.95	0.72
8	18.8	2.00	0.71
9	20.0	2.08	0.69
10	15.4	1.78	0.76

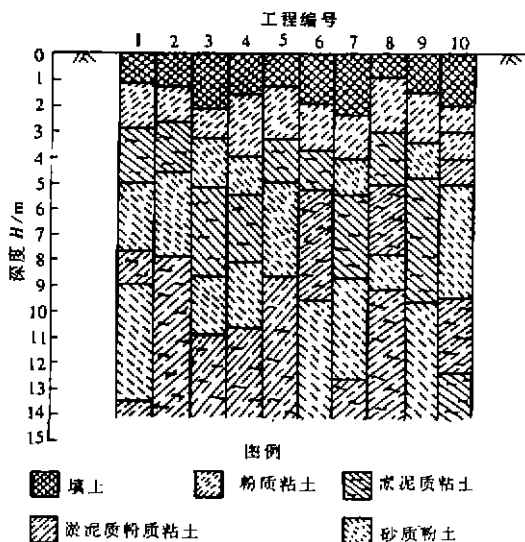


图4 10 个工程的地层剖面

b. 从现场用环刀取原状土, 在室内进行压缩试验可知, 复合地基桩间土压缩模量在 8~25 MPa 之间, 见表 2。

c. 现场进行静载试验, 一般桩径为 50 cm, 复合地基静载试验板尺寸为 1m×1m。由试验可知, 单桩

承载力可达 120 ~ 160 kN, 相应沉降量为 60 ~ 130 mm, 复合地基沉降量为 30 ~ 120 mm, 见表 2。

d. 现有设备最大施工深度为 18 m, 一般为 7 ~ 12 m, 桩距由置换率控制, 置换率一般取 11% ~ 18% 为宜。

e. 水泥渗入比一般为 12% ~ 20%。

表 2 10 个工程的实测及试验结果

工程 编号	桩长 L/m	桩径 D/m	置换率 α_c (%)	土压缩模量 E_s /MPa	单桩承载力 力 P_u /kN	沉降量 s/mm
1	9.5	0.5	13.0	12	110	100
2	6.0	0.5	11.9	20	130	124
3	7.5	0.5	12.8	14	120	115
4	8.0	0.5	12.5	17	135	112
5	6.0	0.5	12.5	25	140	124
6	12.0	0.5	14.0	20	160	75
7	10.5	0.5	14.5	18	120	98
8	8.0	0.5	12.0	16	130	122
9	8.0	0.5	12.0	10	125	121
10	5.5	0.5	12.6	15	80	126

3 施工质量控制

根据现场静载试验结果, 粉喷桩约在桩顶下 2 ~ 2.5 m 处破坏。因此, 桩顶下 3 m 内应复打以提高其强度。

粉喷桩好坏的关键是在施工过程中喷粉量是否均匀, 是否中断喷粉。其主要影响因素有: ①送粉管较长时, 气压不足, 粉管或钻头喷孔易发生堵塞, 当管长为 100 m 时, 送粉气压应大于 0.3 MPa, 当管长为 150 m 时, 送粉气压必须大于 0.35 MPa; ②土层中有烂泥和有机质的混合物时, 喷孔易堵塞; ③钻头没有清除干净, 水泥块掉入喷孔, 易堵塞; ④送粉量太大, 不能顺利喷出, 易堵塞; ⑤前一根桩完成时, 送粉管水泥没有送干净, 易堵塞; ⑥滤筛破损, 水泥块掉入粉罐, 易堵塞。所有这些堵塞现象, 都易使桩的喷粉量减少或断喷, 使桩的强度不够或发生断桩。发生堵塞时, 流量计不动或摆动, 直喷气压升高, 这时应立即停止提升钻头, 并下降 50 cm, 关掉送粉阀, 在钻头提升的同时, 加大直喷气压, 使管路畅通后, 再开始正常施工。

质量检查可采用以下几种方式:

a. 开挖检查。直接检查桩位、桩径是否符合设计要求、检查喷搅的均匀程度。

b. 资料检查。检查施工记录, 看是否有异常现象。

c. 桩体强度检查。检查方法有静力触探(以养护龄期 14 d 为宜)、桩身取样进行室内强度试验、应力波测试等。通过静载试验测定单桩或复合地基承载力及沉降量。在建筑物施工时分层进行观察, 掌握最终沉降量。

4 工程实例

前已提及的淞宝路工程, 6 层住宅, 基础为条形基础, 要求复合地基承载力为 100 kPa, 沉降量小于 150 mm。由地层特性可知, 拟建物位于暗浜暗塘之中, 其浜土成饱和流塑状态, 系高压缩性土, 厚度约 3 m, 最深达 3.8 m, 采用粉喷桩加固地基, 可以满足建筑物对地基土强度和沉降的要求。

设计参数, 桩长 6 m, 有效桩长 5.5 m, 桩径 500 mm; 非浜区水泥渗入量 12.6%, 浜区水泥渗入量 15.5%, 水泥采用 425 普通水泥。经荷载试验, 单桩容许承载力, 非浜区 80 kN, 浜区 45 kN; 置换率, 非浜区 13%, 浜区 36.6%; 复合地基承载力, 非浜区 105 kPa, 浜区 101 kPa; 沉降量, 非浜区 126 mm, 浜区 125 mm, 满足设计要求。

5 结 语

水泥粉喷桩加固软弱地基的实践表明, 在进行粉喷桩设计时, 应具体情况具体分析, 根据不同的地质条件和荷载条件, 调整配合比、置换率、桩长等, 以满足建筑物对复合地基的承载力和沉降的要求。

粉喷桩能否满足设计要求, 施工质量是至关重要的。施工时各项施工工序应认真对待, 发现问题, 及时解决, 确保工程质量。关于送粉流量的问题, 实践经验表明, 是比较难控制的, 建议钻机设计厂家在送粉管上安置一个振动式感应器, 以根据送粉量的不同, 粉流对管子产生的振动频率和振幅也不同, 来直观地了解送粉量的多少。此外, 现在一般一台打桩机配一个粉罐, 建议厂家配置两个粉罐, 交替使用, 可大大加快施工进度。

(收稿日期: 1996-05-15 编辑: 马敏峰)

②

隔河岩水电站

TV-D

隔河岩水电站(见封面照片)是清江流域开发的启动工程。该电站位于湖北省长阳县境内, 由国家和湖北省共同出资建设, 电站装机 120 万 kW, 年发电量 30.4 亿 kW·h, 大坝为重力拱坝, 最大坝高 151 m, 总库容 34 亿 m³。工程于 1987 年 1 月开始施工准备, 1988 年主体工程开工建设, 1994 年 11 月 4 台机组全部投产, 整个工程除升船机外, 于 1997 年竣工验收。