

充填渗透灌浆法在软弱路基加固处理中的应用

陈国勇, 陈智贤

(广东省南方岩土工程公司, 广东 广州 510080)

摘要:广州天河软件科技园高普路建成通车后在里程 147~360 路段产生较大沉降, 采用充填渗透灌浆法对其软弱路基进行加固处理, 实践证明技术上可行, 经济上合理, 取得了预期的效果。介绍了充填渗透灌浆加固机理、设计方法、施工工艺以及施工质量控制措施和检验方法。

关键词:充填渗透灌浆; 软弱路基; 路基加固

中图分类号: U412.22⁺2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)05-0015-03

1 工程概况

广州天河软件科技园高普路, 位于广州市高唐新建区内, 该路建成通车后, 在里程 147~360 路基产生较大沉降。根据勘察报告, 该里程 147~360 路段较低洼, 工程地质条件较差, 有较厚松散的杂填土及软弱淤泥质土, 地基土承载力较小, 一般在 30~50 kPa 之间, 难以满足上部荷载对路基的要求 ($f_{ak} \geq 150$ kPa), 因而导致路基在试通车后产生较大沉降。因工期紧, 为确保道路在短期内通车, 根据场地的工程地质条件, 以及现场施工的实际情况, 在认真分析道路的承载机理后, 结合广州地区常见的软路基加固方法, 在多种软基加固的方法中选择了“充填渗透扩散注压浆法”, 该方法不仅能有效地提高土的承载力。而且经济费用低、工期短、施工方便且施工工艺成熟。

2 工程地质条件

根据场地的工程地质勘察资料, 本地地第四系地层分布如下:

(1) 杂填土 (Q^{ml}), 杂色, 由生活垃圾、塑料碎布片等及少量砖块组成, 结构松散, 层厚 3.50~5.5 m, 标贯 $N=2\sim3$ 击, $f_{ak}=35$ kPa。

(2) 冲积层 (Q^{al}), 该层由淤泥、粉土、粉质粘土组成, 各亚层自上而下分布为:

①淤泥, 深灰色, 流塑状, 饱和, 层厚一般为 2.50~3.10 m, 平均为 2.8 m, 标贯 $N=1\sim2$ 击, $f_{ak}=35$ kPa;

②粉土, 浅灰白, 松散, 饱和, 层厚为 1.50~

2.00 m, 平均厚为 1.86 m, 标贯 $N=8\sim9$ 击, $f_{ak}=100$ kPa;

③粉质粘土, 浅灰白, 软塑, 很湿, 层厚为 1.5~2.80 m, 平均厚为 2.35 m, 标贯 $N=6\sim9$ 击, $f_{ak}=100$ kPa。

(3) 残积层, 花岗岩风化残积土, 灰青色, 厚度变化较大, $f_{ak}=220$ kPa, 层厚为 5.00~8.10 m, 平均厚为 6.50 m。

根据设计要求, 地基土承载力特征值 ≥ 150 kPa。综合上述工程地质条件, 第(1)、(2)层是本工程主要加固土层。

3 充填渗透灌浆加固机理及设计

3.1 加固机理

渗透灌浆法是用于加固(主要受力层)杂填土、淤泥或淤泥质土、饱和软粘土地基的一种较为成熟且经济的地基加固方法, 用水泥等材料作为固化剂, 利用液压、气压或电化学原理, 通过注浆管把浆液均匀地注入地层中, 浆液以填充、渗透和挤密等方式, 赶走土颗粒间或岩石裂隙中的水分和空气后置换其位置, 经人工控制一定时间后, 浆液将原来松散的土粒或裂隙胶结成一个整体, 形成一个结构新、强度大、防水性能好和化学稳定性良好的“结石体”, 以其改变土体的结构, 提高土体的强度和变形模量, 从而提高土体的承载力。

由于地层中土体的不均匀性, 通过钻孔向土层中加压灌入一定水灰比的浆液, 一方面灌浆孔向外扩张形成圆柱状浆体, 钻孔周围土体被挤压充填, 紧靠浆体的土体遭受破坏和剪切, 形成塑性变形区, 离

收稿日期: 2007-04-10

作者简介:陈国勇(1961-), 男(汉族), 广东新会人, 广东省南方岩土工程公司副总经理、工程师, 工程地质专业, 从事岩土工程工作, 广东省广州市东风东路 751 号, (020)87694578, chen_gy2000@tom.com; 陈智贤(1964-), 男(汉族), 广东人, 广东省南方岩土工程公司, 工程地质与水文地质专业, 从事岩土工程工作, gzczx555@126.com。

浆体较远的土体则发生弹性变形,钻孔周围土体的整个密度得到提高。另一方面随着灌浆的进行,土体裂缝的发展和浆液的渗透,浆液在土层中形成方向各异、厚薄不一的片状、条状、团块状浆体,纵横交错的浆脉随着其凝结硬化,造成结石体与土体之间紧密而粗糙的接触,沿灌浆管形成不规则的、直径粗细相间的桩柱体,从而达到增加地层强度的目的。这种桩柱体与压密的地基土形成复合地基,相互共同作用起到控制沉降、提高承载力的作用。

3.2 填充渗透灌浆的设计

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002、J 220-2002)的有关要求,以及结合同类工程经验进行设计。

3.2.1 浆液扩散半径

注浆半径的确定:

$$R = \sqrt{30kPr_0t/(\beta n)}$$

式中: k ——土的渗透系数,取 1.2×10^{-3} cm/s; P ——注浆压力,取 0.3 MPa; r_0 ——注浆管半径,取 1 cm; t ——注浆时间,取 $t = 25 \times 60$ s; n ——土的孔隙率,取 55%; β ——损失系数,一般取 0.1~0.3。

经过计算得 $R = 1.0$ m,其有效影响半径为 0.5 m。

由于杂填土较松散,均一性差,其孔隙率、渗透系数变化大,因而仅用理论公式计算浆液扩散半径显然不甚合理,现据大量的经验数据,暂定 R 值为 1.5 m。在现场进行灌浆试验后进一步确定 R 值。

3.2.2 浆液配合比

根据现场施工经验,如水灰比很小,对注浆后的路基强度固然有利,但浆液在压力管道中的阻力必然增大,对注浆泵要求较高,施工困难,同时也不利于浆液进一步扩散,影响注浆半径;如果水灰比太大,则跑漏浆严重、造成浪费,且浆液体凝结硬化时收缩比较大,易形成新的孔隙。因此浆液配合比确定得是否适当,是注浆质量好坏的重要因素之一。根据场区所加固土体的特性并结合《建筑地基处理规范》(JGJ 79-2002、J 220-2002)要求,本工程选用水灰比为 0.45~0.5,同时考虑到杂填土中孔隙较大较易扩散,导致灌浆量过大时,需加水泥速凝剂 2% (水玻璃 40 Be')。或采用水:水泥:细砂 = 0.75:1:1 的水泥砂浆灌注。

3.2.3 灌浆孔位布置及灌浆孔孔深

根据注浆有效半径 $R = 1.5$ m,采用相互重迭,设计注浆孔距,灌浆孔采取梅花形分布,则灌浆孔距 $L = 1.2 \sim 1.5$ m;最优排距 $R_m = R + b/2 = 1.5 +$

1.50/2 = 2.25 m。

本次加固布置 6~8 排,选用排距为 1.20~1.80 m,加固范围分 3 个里程段进行,里程 147~231 段布置钻孔数 750 个,孔深为 4.50~6.50 m。里程 247~256 段布置钻孔数 44 个,孔深为 4.00 m。里程 295~360 段布置钻孔数 294 个,孔深为 4.00~6.00 m。一共布置钻孔数 1088 个。

灌浆孔孔深以穿过杂填土、淤泥,孔底到粘性土层为准。

3.2.4 灌浆压力

由于注浆压力与所加固土体上覆土层的压力、浆液粘度、注浆速度和注浆量、孔深、位置等因素有关,注浆过程中压力是变化的,而这些因素又难以准确地确定,本工程参照《建筑地基处理规范》(JGJ 79-2002、J 220-2002)要求,暂定第一次注浆压力采用 0.45~0.5 MPa,第二次注浆压力为 1~2 MPa,在灌浆过程中根据具体情况再作适当的调整。

3.2.5 注浆量

所需注浆量由下列公式计算:

$$Q = 1000KVn$$

式中: Q ——浆液总用量, L; V ——土的体积, m^3 ; K ——经验系数,取 0.3~0.6; n ——土的孔隙率, %。

理论估算杂填土、淤泥或淤泥质土和粉土的单位吸浆量分别为 330、255 和 150 L。

本工程需水泥为 130.5 t,水玻璃(40 Be') 2.61 t。

4 施工程序

根据场区的情况,施工程序大致为:放线定点→安装机械及调试→成孔→安放灌浆管并孔口封堵→搅浆→灌浆→待凝→成孔→安放灌浆管并孔口封堵→搅浆→灌浆→封孔。

4.1 放线定点

按所布置的钻孔、用测量仪器在现场准确放点定位,经委托方验线无误后才进行施工。

4.2 钻机就位及成孔

现场放点,钻机就位,并按设计孔深要求钻进至设计深度终孔,开孔口径为 110 mm。

4.3 下入钢花注浆管及洗孔

下入钢注浆花管之后进行洗孔,并在注浆管口捆止浆袋及第二次注浆管。注浆管在注浆地层范围段应设梅花形注浆孔。

4.4 压力注浆

洗孔后进行第一次注浆,注浆压力宜为 0.25 ~ 0.5 MPa。浆液采用纯水泥浆液,水灰比为 0.45 ~ 0.5,加 2% 水玻璃。

第二次注浆主要是针对杂填土而进行的,应在一次注浆的浆液初凝后终凝前进行,注浆压力宜为 1 ~ 2 MPa。

灌浆采用孔底灌浆方法,即封闭孔口,自下而上分段灌浆,灌浆段的长度以杂填土和淤泥或淤泥质土厚度来确定。对杂填土地段,当吸浆量较大时采取间歇灌浆或用砂浆灌注,终灌时的压力要达到设计值。灌浆结束标准严格按设计执行。

4.5 灌浆结束后及时补浆

灌浆结束过 0.5 h 后,排除孔口封堵物,往孔内补浆直到稳定层顶面,过 24 h 后,若浆液下沉,再补充水灰比 0.5 的浆液至稳定层顶面。

4.6 完成上述施工程序之后,依次施工下一孔

5 特殊情况下的技术处理措施

5.1 冒浆处理

在灌浆过程中,发现浆液冒出地表即冒浆时,采取如下控制性措施:

- (1)降低灌浆压力,同时提高浆液浓度,必要时掺砂或水玻璃;
- (2)限量灌浆,控制单位吸浆量不超过 20 ~ 25 L/min 或更小一些;
- (3)采用间歇灌浆的方法,即发现冒浆后就停灌,待 15 min 左右再灌。

5.2 串浆处理

在灌浆过程中,当浆液从附近其他钻孔冒出即串浆时,采取如下方法处理:

- (1)采用跳跃式钻孔注浆施工,或局部增大注浆孔的孔距;
- (2)在施工组织安排上,适当延长相邻两个次序孔施工时间的间隔,使前一次序孔浆液基本凝固或具有一定强度后,再开始施工后一次序钻孔,相邻同一次序孔不要在同一高程钻孔中灌浆;
- (3)串浆孔若为待灌孔,采取同时并联灌浆的方法处理,如串浆孔正在钻孔,则停钻封闭孔口,待灌浆完成后再恢复钻孔。

6 质量控制与检测

6.1 质量控制

(1)钻孔成孔质量控制。严格控制成孔施工质量,主要包括孔径、孔斜及孔深误差校正和钻进的方法。

法。

(2)水灰比的质量控制。严格执行本方案所设计的配比进行施工,注浆前对配制的泥浆进行抽样检查,确定其凝固固结情况。

(3)注浆的质量控制。严格按照所设计的压力注浆,并掌握好二次注浆时间,以及注浆量的控制。

6.2 质量检验

- (1)水泥浆液应做试块进行不同龄期的抗压强度试验,以检验注浆体的强度;
- (2)可采用钻探抽芯法,检验灌浆体的强度及灌浆质量;
- (3)可采用压板试验来检查注浆后复合地基承载力能否达到设计要求;
- (4)可用钻探方法检查桩与桩间土注浆效果,并用原位测试(如标准贯入方法)检查复合地基的承载力是否达到设计要求。

7 灌浆效果

7.1 开挖后实地观察

灌浆加固后 5 天,部分开挖深度为 2 m,只见 10 ~ 20 mm 厚的薄片状浆液凝固体分布在土体中,凡空隙处与薄弱处均充满了浆体,特别是在杂填土顶面与石屑垫层底面之间的接触部位,充填有大量的条带状浆液凝固体(水泥浆石),厚 1 ~ 5 cm,构成了路基硬壳表层。

7.2 标准贯入试验

灌浆加固前后各地层标贯击数见表 1。

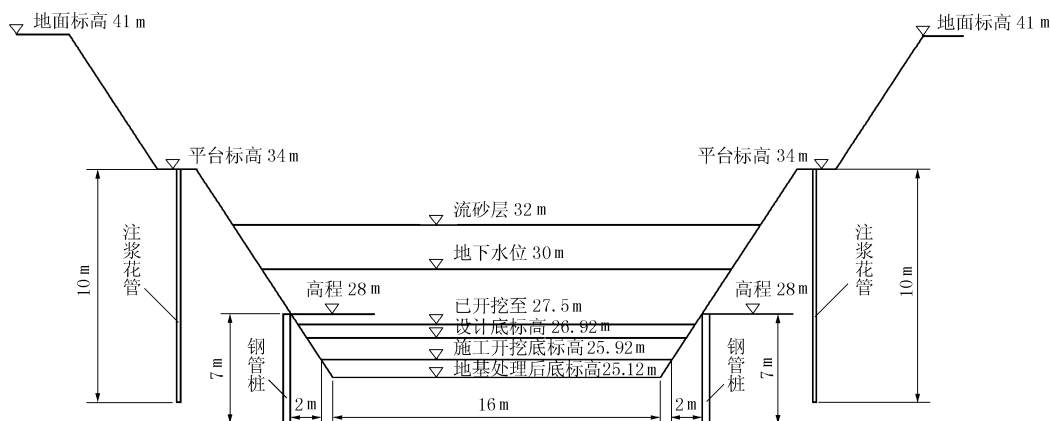
表 1 灌浆加固前后各地层标贯击数对照表		
地层名称	未加固前标贯击数 N/击	灌浆加固后标贯击数 N/击
杂填土	2 ~ 3	4 ~ 5
淤泥	1 ~ 2	3 ~ 4
粉土	8 ~ 9	10 ~ 11
粉质粘土	6 ~ 9	8 ~ 10

表 1 表明,灌浆加固后地基土加固效果明显,地基土承载力明显提高。

从工程竣工到通车使用 2 年多证实,加固段道路无下沉现象。表明加固效果明显,灌浆加固后地基的承载力达到了设计要求。

8 结语

(1)灌浆加固具有较高水泥土强度和树枝状水泥网脉体,使原地基土承载力大大提高,是加固场区不良地基的一种好方法。该灌浆技术加固软路基, (下转第 19 页)



浆液充填花管周围的砂土孔隙,阻止基坑两侧的水向基坑方向流动,起到保护基坑边坡的作用。

(2) 钢管桩采用直径 220 mm 的加厚钢管,管长 7 m,管壁对称钻 $\varnothing 6$ mm 孔,孔间距为 50 cm。打入砂层后灌水泥-水玻璃浆液,这样浆液就会充填钢管周围的砂土孔隙,起到二次防水的作用。钢管管距 90 cm,纵向布置一排,由于钢管强度较高,具有较好的挡土效果,进一步保证了基坑边坡的稳定。

(3) 水泥采用 525 普通硅酸盐水泥, 水玻璃模数为 2.4 ~ 3.4, 浓度为 35 ~ 40 Be', 水泥浆水灰比为 1, 水泥与水玻璃体积比为 1: 0.5。

4 施工注意事项

(1) 因地质情况复杂,在实施本方案时,施工现场技术人员应及时监测基坑位移变化情况,并对治理方案中所提参数进行修正,以达到预期的治理效果。施工前后应进行标贯试验并对注浆后土体取样进行室内或原位测试,以确定其强度指标、渗透性能,以便更好的指导后期开挖。

(2) 施工单位应与设计单位密切配合,以确保施工质量。

5 结语

采用花管注浆与钢管桩组合方案,注浆可以建立止水帷幕,阻止基坑两侧的水向基坑方向流动,起到保护基坑边坡的作用。同时,由于钢管强度较高,具有较好的挡土效果,进一步保证了基坑边坡的稳定。与其他方案相比,花管注浆与钢管桩组合方案具有低成本和施工迅速等优点,经过实际检验,治理效果显著。

参考文献:

- [1] 郭百平. 深基坑边坡支护与降水方案的设计[J]. 工业建筑, 2006, 36(增刊).
- [2] 汪新平, 张俊, 杨志银. 双排护坡桩的应用[J]. 工业建筑, 2006, 36(增刊).
- [3] 李天成. 复杂条件下深基坑支护设计与施工[J]. 施工技术, 2006, 35(增刊).

(上接第 17 页)

在技术上是可行的,施工质量有保证,处理效果明显,使承载力和稳定性得到较大的提高。

(2)采用填充渗透灌浆法在松散的杂填土、淤泥或淤泥质土及粉砂层中加固地基土效果明显,开挖后实地观察和灌浆加固前后各地层标贯击数对照进一步证实软路基加固已取得预期效果。

(3)在城市道路软基加固处理方面,该方法比其它方法成本低,施工简便,质量可靠,不但技术上可行、经济上合理、工期上缩短,而且极大地减少了环境污染问题。对于地质条件复杂,施工条件允许

的工程特别适用,经济效益好,可推广。

参考文献:

- [1] JGJ 79-2002、J 220-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] GB 5007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [3] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册[M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 1998. 369-418.
- [4] 江正荣. 地基与基础施工手册[M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 1997. 288-306.
- [5] 彭振斌. 注浆工程设计计算与施工[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 1-278.