

既有高速公路软基加固的高压旋喷桩法

杨海彤,卢传忠,周金强

(江苏沿海高速公路管理有限公司,江苏 盐城 224523)

摘要:针对既有高速公路软基沉降问题,介绍了高压旋喷桩法的设计方案、施工工艺以及质量控制等内容,以江苏省沿海高速连盐路段为例,对施工过程中的路面隆起情况进行监测分析,对最终沉降量进行了数值模拟计算以评价加固效果,并与加铺沥青法进行了费用对比分析。研究表明:高压旋喷桩法可以有效处治既有高速公路软基工后沉降问题,并且具有较好的经济效益。

关键词:既有高速公路;软土地基;高压旋喷桩;现场监测;数值模拟;经济效益

中图分类号:TU473.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2014)S2-0029-03

随着我国高速公路交通量的迅速增加,建在软土地基上的各类高速公路工后沉降问题日渐突出^[1],目前主要的解决方式是加铺沥青层以填补路面沉降高度,但加铺的沥青层会增加路面自重从而加剧工后沉降,使得软土地基高速公路工后沉降成为恶性循环。

高压旋喷桩法自引进我国已有数十年历史,其在工程各方面的应用也得到了很大的推广。到目前为止,高压旋喷注浆技术已经得到了广泛的应用,国内外学者在理论方面也进行了很多的相关研究。研究表明,高压旋喷桩在处理软土地基时具有良好的效果,并且可以对处理后的工后沉降量进行较准确的计算^[2-5]。2006年曾克强^[6]对旋喷桩复合地基设计的几个参数进行了研究,对不同土层旋喷桩的有效桩长取值进行了分析,同时指出浆料类型及注浆量应根据土层条件进行合理选择;胡晓虎等^[7]结合日本地区的工程实践介绍了新型RJP高压旋喷工法的应用情况,验证了其工程应用的可行性与可靠性。

虽然现在对于高压旋喷桩法的研究已经具有很多成果,但是在软土地基既有高速公路上的高压旋喷桩法的应用研究还较少。因此,本文结合江苏省沿海既有高速公路软基路段变形病害综合处治项目,将高压旋喷桩法应用在已通车的高速公路上,治理其不均匀沉降问题;并介绍高压旋喷桩法处理高速公路不均匀沉降的施工工艺、路面监测、数值模拟和经济效益等情况,为后续类似工程优化设计和质量监控提供参考依据。

1 设计方案

1.1 工程概况

江苏省沿海高速连盐段路段全长7.092 km,最主要的不良地质现象为浅部有较厚软土分布。该路段自通车以来沉降一直没有稳定,每年新增沉降量达到5~10 cm。经过比较各种加固方法,并在详实的现场调查基础上,对该路段拟采用高压旋喷桩加固方案。

1.2 施工参数

路段地基加固长度为30 m,参照相关规范和手册^[8-10],路堤引孔直径为110 mm,注浆深度为16 m,高压旋喷桩直径为600 mm,注浆孔纵向间距1.8 m,横向间距1.8 m,处理完毕后用无砂水泥密封,封口深度为2.9 m。总桩数为306根,总桩长为4 896 m,路段地基加固方案布置见图1。

通过试验段施工情况,决定注浆材料采用42.5普通硅酸盐水泥,掺灰量为250 kg/m,水灰比为1:1。根据施工过程中路面抬起情况控制浆液压力为20~24 MPa,空气压力为0.5~0.9 MPa,水泥浆流量65 L/min,钻杆升速20 cm/min,钻杆转速18 r/min。

2 施工工艺

a. 钻机就位。钻机安放在设计的孔位上并应保持垂直,施工时旋喷管的允许倾斜度不得大于1.5%。

b. 钻孔。上部沥青及路基塘渣先用潜孔锤引

作者简介:杨海彤(1972—),男,江苏南京人,高级工程师,硕士,主要从事道路工程设计工作。E-mail:yht705@hotmail.com

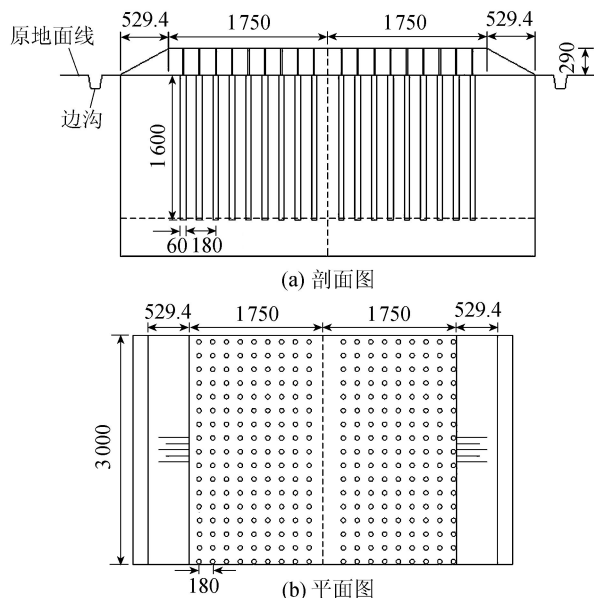


图1 路段地基加固方案布置(单位:cm)

孔。使用76型旋转钻机,钻进深度可达30m以上,适用于标准贯入度小于40的砂土和黏性土层,当遇到比较坚硬的地层时宜用地质钻机钻孔。钻孔的位置与设计位置的偏差不得大于50mm。

c. 插管。插管是将喷管插入地层预定的深度。如使用地质钻机钻孔完毕,必须拔出岩芯管并换上旋喷管插入到预定深度。在插管过程中,为防止泥砂堵塞喷嘴,可边射水、边插管,水压力一般不超过1MPa,若压力过高,则易将孔壁射塌。

d. 喷射作业。当喷管插入预定深度后,由上而下进行喷射作业,技术人员必须时刻注意检查浆液初凝时间、注浆流量、风量、压力、旋转提升速度等参数是否符合设计要求,并随时做好记录。当浆液初凝时间超过20h应及时停止使用该水泥浆液(正常水灰比1:1,初凝时间为15h左右)。

e. 冲洗作业。喷射施工完毕后,应把注浆管等机具设备冲洗干净,管内、机内不得残存水泥浆。通常把浆液换成水,在地面上喷射,以便把泥浆泵、注浆管和软管内的浆液全部排除。

f. 废浆处理。旋转提喷时将有一部分浆冒出孔口,先集中一处,次日干后成土围筑后排放冒浆,完成后运出场地。

g. 沥青罩面。可以采用粗粒式沥青混凝土(AC-25I型)进行罩面,罩面厚度可以根据整个处理区域路面结构层的厚度进行调整。

3 路面隆起及沉降监测

施工过程中对路面隆起情况的监测是一项重要工作。根据施工进度中路面隆起情况的变化可以及时调整灌浆压力,以防止路面抬起高度不足达不到

设计要求或者抬起高度过高造成路面开裂。施工结束后总的路面高程变化值是高压旋喷桩法加固既有高速公路不均匀沉降最终效果的重要参考数据。本工程在施工过程中通过合理围挡分别将两幅路面分为两个施工区域,交替施工以保障半幅路面通车顺畅不影响高速公路车辆正常行驶。施工过程中每半幅路面设有高程观测点,每1~2个施工工作日做一次高程观测以保证工程质量。施工结束后总的路面高程变化值充分说明了高压旋喷桩法加固既有高速公路不均匀沉降的良好效果以及工程质量。

前半幅施工路面(连云港至盐城方向)监测点高程变化情况如图4所示。该半幅路面施工日期从2013年8月20日至9月6日,由于监测点距离初始施工点较远,在6天时间监测点附近路面隆起并不明显,当施工区域开始接近监测点时路面开始出现明显隆起。该半幅路面平均最终隆起值为4.74cm,完全达到了设计的预期加固要求。

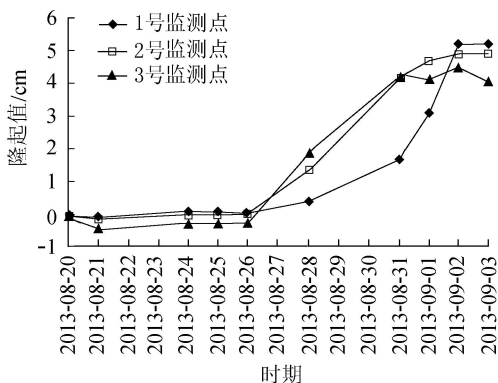


图2 连云港至盐城方向路面监测点高程变化情况

后半幅施工路面(盐城至连云港方向)监测点高程变化情况如表2所示。该半幅路面施工日期从2013年9月11日至9月30日,吸取前半幅路面的监测经验,观测点位置涵盖整个施工过程,路面隆起情况较为明显,所有监测点的平均隆起值为6.27cm。从图2、图3可以看出,两幅路面出现不同程度的抬升,平均隆起值均达到最初的预期目标,加固处理效果明显。

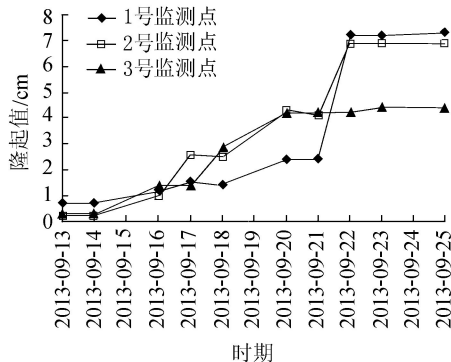


图3 盐城至连云港方向路面监测点高程变化情况

4 加固效果分析

为了对高压旋喷桩法的加固效果进行分析,运用 Plaxis 有限元计算软件对进行有限元数值模拟,对试验段的加固过程进行数值模拟计算。

4.1 网格及边界条件

本文所建立的模型是关于路基横断面的平面应变分析模型,由于路堤为对称结构故模型建立只取一半结构。考虑边界效应的影响,几何模型从路基中间开始考虑 60 m 宽,对位移边界条件作如下假定:认为模型的左、右边界水平方向位移均为零,竖直方向允许发生变形,下边界任意方向的变形为零,高压旋喷注浆加固形成的桩体桩径取 600 mm,桩长 16 m。路基填土和路面结构层均采用线弹性模型,弹性模量分别为 20 MPa 和 100 MPa,泊松比均取 0.3;地基土采用 Mohr-Coulomb 弹塑性模型。有限元数值计算网格如图 4 所示。

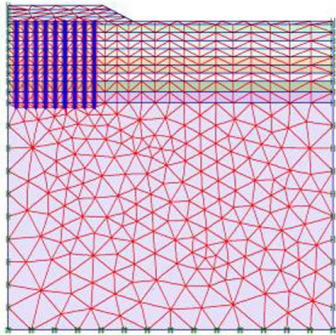


图 4 有限元数值计算网格

4.2 有限元计算步骤

为了探究试验段的地基沉降情况,采用 Plaxis 软件计算时设置 3 个分析步骤:①激活路基荷载,计算类型设置为塑性分析;②目前固结状态,时间间隔为 2555 d,计算类型设置为固结分析;③固结完成状态,当最大超孔隙水压力小于 1 虎 kPa 时,认为固结完成。全部分析步骤计算结束后,可以从计算步骤③中输出地基总沉降量和地基总水平位移,以及从计算步骤②中输出目前地基已完成的沉降量、地基已完成的水平位移和目前地基超孔隙水压力分布情况。若在计算步骤③中选择“重置位移为 0”选项,则可以从计算步骤③中输出地基残余沉降量和地基残余水平位移。

4.3 计算结果分析

采用高压旋喷桩进行加固处理后,采用简化公式计算得到工后沉降量为 2.6 cm^[11-12],数值模拟计算得到工后总沉降为 3.026 cm(图 5),与原设计方案相比沉降量减小了 25.9 cm,有效解决了既有高速公路工后沉降问题。根据有限元数值模拟可知,采

用高压旋喷桩进行路基加固处理,可以有效减少软土地基路堤的沉降,使工后沉降满足高速公路的使用要求。

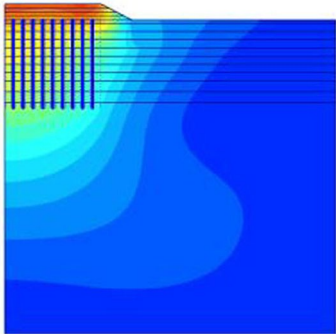


图 5 有限元计算沉降云图

5 经济性分析

高压旋喷桩法加固既有高速公路软土地基效果较好,与加铺沥青法相比具有更好的长远效益,通过加固路基从根本上解决了沉降问题,而且经济效益较好。以本工程为例计算处理费用,按照桩长 16 m,总桩数 306 根,桩单价 180 元/m,则桩的造价为 88.128 万元,加上前期引孔造价 6.426 万元,可得出采用高压旋喷桩法加固该段路的成本费用为 94.554 万元。如果采用加铺沥青法处治高速公路沉降问题,每年加铺的沥青会产生多余应力从而导致路基产生更多的应变,加大路基的残余变形。以连盐路段为例,处理路段长 30m,宽 35m,加铺沥青平均厚度为 20 cm,沥青混合料价格约为 1 000 ~ 1 200 元/m³,可计算得出每次处理费用约为 21 ~ 25.2 万元。

对以上两种技术方法进行经济性对比分析,如图 6 所示。由图 6 可见,若采用加铺沥青法,则加铺沥青 3.75 a 后,其费用与高压旋喷桩法一样;10 a 后,高压旋喷桩法的费用仅为加铺沥青法的 37.5%。可见,高压旋喷桩法处治既有高速公路软地基沉降问题具有长远的经济效益。

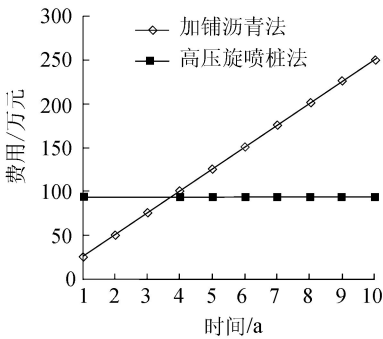


图 6 不同方案的费用对比

(下转第 50 页)

大裂缝宽度达 4cm,房屋下部基础部分水土流失严重,基础抗侧力较为薄弱,易发生局部倒塌。门口台阶的裂缝在多次观测过程中有增多、增大趋势。

根据上述情况,建议立即疏散撤离该房屋居住人员,并采用灌浆法对该房地坪下基础部分进行临时修补。对房屋南外墙至驳岸之间的地基采用压密注浆进行加固。首先在靠近驳岸处注浆封闭,保证注浆浆液不随空洞中水位变化而流失,浆液采用水泥-水玻璃速凝混合浆液。对房屋主体结构部分待运河驳岸沉降、位移及房屋沉降、位移、裂缝等情况稳定后实施加固。该房屋为老旧房屋加固,为防止在加固、维修过程中出现安全事故,施工前对楼盖、大梁等主要构件进行全面托撑,并做好安全防护工作。本房屋采取砌体结构墙体增设复合砂浆钢筋砖构造柱及圈梁,纵横墙咬槎处配钢筋,砌体裂缝采用单面销钉钢筋网片水泥砂浆等加固措施。目前,房屋已经加固完成,运行正常。

4 结论与建议

a. 农民自建房屋因建造年代较长,且受当时的经济水平和物质条件所限,房屋结构体系、使用材料、施工质量相对较差,致使房屋的总体质量较差且是普遍现象。

(上接第 31 页)

6 结 论

a. 使用高压旋喷桩法加固高速公路软土路基,设备较简单,施工速度较快,对高含水率软土路基加固效果明显,能有效地治理高速公路不均匀沉降,且比加铺沥青法具有更好的稳定性和经济性。

b. 根据不同路段、不同地质条件选择合理的设计、施工参数,可使加固效果更加显著,同时可以合理保护路堤结构层在高压旋喷施工过程中不被破坏,保护路堤原有结构。

参考文献:

[1] 钱归. 广明高速公路广州段软基处理方案及检测分析 [D]. 广州: 华南理工大学,2012.

[2] 张鑫. 高压旋喷桩在高速公路软弱地基中的应用研究 [D]. 西安: 西安科技大学,2007.

[3] CROCE P, FLORA A. Analysis of single fluid jet-grouting [J]. Géotechnique,2000,50(6): 739-748.

[4] HOCE. Analysis of deep jet grouting field trial in clay

b. 临河农民自建房屋,受外部条件发生变化如运河驳岸施工、水位变化等影响,可能出现大量裂缝等结构受损现象。

c. 结构受损房屋必须委托有资质的检测鉴定机构,查明结构受损情况,委托有资质的加固单位,实施分类加固,确保房屋使用安全。

d. 加固后的房屋,应每 10 年进行一次全面检测,每年对使用功能进行检查,对使用过程中存在的问题应及时发现及时处理,用户不得擅自改变房屋使用功能。

e. 地方政府应结合社会主义新农村建设要求,组织专项工作小组对农民自建房屋,尤其是年代较久远房屋的工程安全性进行普查,发现有安全隐患应立即进行加固,确保居民住得安心、放心。

f. 政府应根据需要,制定内容齐全、设施先进且符合农村实际需要的多类型农民公寓的标准图纸,新建住房政府应引导农民根据现行规范进行施工,过程中给予指导。

参考文献:

[1] JGJ 125—99(2004) 危险房屋鉴定标准[S].
(收稿日期:2014-09-05 编辑:胡新宇)

[C]//Contemporary Topics in Ground Modification, Problem Soils, and Geo-Support. New York: ASCE,2009: 233-240.

[5] 李小杰. 高压旋喷桩复合地基承载力与沉降计算方法分析[J]. 岩土力学,2004,25(9): 1499-1502.

[6] 曾克强. 旋喷桩复合地基设计几个计算参数的探讨 [J]. 矿产与地质,2006,20(3): 298-303.

[7] 胡晓虎,川田充,中西康晴,等. RJP 高压旋喷工法及其在日本的工程应用[J]. 岩土工程学报,2010,32(8): 410-413.

[8] JTJ017—96 公路软土地基路堤设计与施工技术规范 [S].

[9] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京:中国建设出版社,2000.

[10] 徐泽中,殷宗泽. 交通土建软土工程手册[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[11] 何思明. 基于弹塑性理论的修正分层总和法[J]. 岩土力学,2003(2): 88-92.

[12] 梅国雄. 固结有限层理论及应用[D]. 南京: 河海大学,2002.

(收稿日期:2014-09-21 编辑:周红梅)