

侧向注浆在已通车高速公路工后沉降处理中的应用

卢传忠¹, 杨海彤¹, 曾垂昌²

(1. 江苏沿海高速公路有限公司, 江苏 盐城 224523; 2. 河海大学岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:结合江苏沿海高速公路连盐段工程实例,对江苏沿海高速公路软土地基沉降病害原因进行了分析,结果表明其主要是由不均匀沉降造成的;采用侧向辐射注浆加固技术进行治理,并对处理前后现场沉降监测资料进行了对比。结果表明:在已通车高速公路软土地基沉降病害治理中,侧向辐射注浆加固技术加固效果较好,且对公路运营影响较小,具有较大的推广应用价值。

关键词:已通车高速公路;不均匀沉降;侧向辐射注浆;公路运营

中图分类号:U416.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2014)S2-0036-04

我国幅图辽阔,高速公路四通八达。然而我国地质情况复杂多变,特别是沿海地区大面积的软土地基,给公路建设带来了较大的影响和隐患。路基不均匀沉降导致跳车现象^[1-3]是目前国内公路较常见的沉降病害,而且随着我国公路的发展该问题越来越突出。因此,对已通车高速公路软土地基沉降病害治理的研究十分必要。

近些年,软土地基治理方法发展迅速,相关人员对注浆加固技术进行了大量的研究^[4-5],并取得了一些可行性成果。其中,王晓亮等^[6]结合北京地铁二期项目,采用注浆资料分析法、注浆填充率反算法等常规方法进行注浆效果评价,并采用监测数据分析和开挖验证法进行验证性分析,得到良好的综合注浆效果评价;许岩^[7]介绍了袖阀管劈裂注浆在软土地基处理中的应用,着重阐述了工程方案的选择和袖阀管劈裂注浆的施工技术,得到了良好的经济效益;闻生^[8]综合论述了公路软土地基注浆处理涉及的各种方法的加固机理和适用范围,指出注浆方法是解决软土地区公路建设的一种适宜方法;周予启等^[9]结合深圳平安金融中心深基坑工程,介绍了袖阀管注浆原理和注浆围井试验,通过监测数据表明,注浆加固技术能够保证基坑的安全状态。

综上所述,注浆加固技术是治理软土地基较好的方法之一,但是针对其在已通车高速公路软土地基处理上的应用与研究相对较少。本文结合江苏沿海高速公路连盐段工程实例,应用侧向辐射注浆加

固方法治理软土地基沉降病害,并通过对施工过程中路基高程变化量和工后沉降量的现场量测分析其治理效果。结果表明,侧向辐射注浆加固技术能够较好地解决已通车高速公路软土地基沉降病害问题。

1 工程概况

江苏沿海高速公路连盐段始建于2003年10月,全长152.963 km,双向6车道。工程施工路段位于连盐高速公路LY-SJ1合同段(灌云至响水),里程为K866+168—K866+212和K865+220—K865+280。

1.1 地质条件

该工程施工区域主要为海陆交互沉积的滨海平原区,西高东低呈微倾斜状,地势低平,水系发育,地面标高一般为2~4 m,浅部新近沉积的软土分布较为普遍。该区域最主要的不良地质现象为浅部有较厚的软土分布,主要包括2-2层淤泥和2-3层淤泥质黏土-亚黏土,其主要物理力学性质指标见表1。

1.2 近几年沉降及处理情况

工程施工所处路段为桥头过渡段和一般路段,与之相邻的为箱涵过渡段。该路段自2006年通车以来,沉降一直没有稳定,每年新增沉降量达4~5 cm,跳车现象非常明显,严重影响了行车的舒适性和安全性。对此,高速公路运营养护单位尚无良好的对策,只能被动地进行路面加铺^[10],使加铺路面与箱涵的标高一致,以尽可能改善跳车问题。2009年、2011年、2013年路面加铺厚度分别为6.9 cm、6.3 cm、5.9 cm,但该方法并不能从根本上解决跳车问题。新铺的路面材料作为新的荷载施加在路堤

作者简介:卢传忠(1968—),男,江苏盐城人,高级工程师,主要从事道路工程设计工作。E-mail:734816704@qq.com

表 1 软土层的主要物理力学性质指标

层号	含水率 W/%	孔隙比 <i>e</i>	液性 指数 <i>I_L</i>	压缩系数 $\alpha_{1.2}/$ MPa ⁻¹	压缩 模量 <i>E_s</i> / MPa	直剪		固快		慢剪	
						<i>c</i> /kPa	$\varphi/(^{\circ})$	<i>c</i> /kPa	$\varphi/(^{\circ})$	<i>c</i> /kPa	$\varphi/(^{\circ})$
2-2	64.6	1.759	22.1	1.71	1.61	9	1.9	14	7.1	18	5.6
2-3	44.0	1.281	1.36	0.90	2.76			14	14.7		

上,在软土地基中产生新的附加应力,进而引起新的固结沉降,在运营一段时间后又产生新的差异沉降,跳车问题再次出现。

1.3 沉降病害分析

由原始工程记录得知,箱涵段采用粉喷桩进行地基加固,而一般路段采用等载预压^[11]和加筋处理^[12],地基处理方式明显弱于箱涵段。由于存在着较大的刚性差异,在车辆荷载的反复作用下,箱涵基础与路堤间产生了显著的差异性沉降变形,出现了严重的路基不均匀沉降病害即跳车问题。此外,随着交通量的变大,车辆荷载随之增加,加上被动地在病害处加铺路面,在一定程度上加剧了不均匀沉降病害,形成恶性循环。

2 加固方案及主要施工参数

2.1 加固方案

劈裂注浆是目前应用最广泛的一种注浆方法,在软土地基、隧道、路基和堤坝防渗加固等工程中有广泛的应用^[13]。而采用袖阀管注浆工艺进行劈裂注浆,能较好地控制注浆范围和注浆压力,逐次提升或降低注浆管可实现分段重复注浆,且发生冒浆与串浆的可能性较小,是公认为最可靠的注浆工法之一^[14]。本文基于沿海高速公路不均匀沉降病害以及袖阀管劈裂注浆工艺特点,提出一种治理已通车高速公路不均匀沉降病害的方法——侧向辐射注浆法,即在原有路堤边坡处侧向钻孔(孔径约10 cm),钻进路堤后沿地基继续钻进,直至达到设计标高,利用袖阀管劈裂注浆法,把能固化的浆液注入土体的裂隙或孔隙,通过浆脉挤压土体和浆脉的骨架作用达到加固路基下软土地基的目的。图1为侧向辐射注浆法加固路基下软土地基示意图。

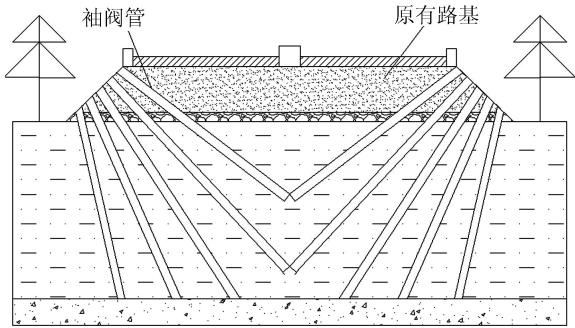


图 1 侧向辐射注浆加固路基软土地基

2.2 主要施工参数

2.2.1 注浆参数

该路段浅部分布着较厚的淤泥质黏土,含水量大,渗透性差,当采用水泥浆液或水泥黏土浆液劈裂注浆时,不但存在土体受压后的固结问题,还存在浆液本身的固结问题,因此注浆参数需在经验参数^[15]的基础上结合该工程的实际情况而定。注浆参数如下:注浆压力0.3~0.5 MPa,根据地质情况以及劈裂注浆工程经验确定;扩散半径 ≥ 0.7 m,由单孔注浆试验确定;注浆量70 kg/m,与水灰比关系较大;水灰比0.6~0.8,据试验而定;水泥与水玻璃质量比为2:1(42.5号普通硅酸盐水泥,水玻璃浓度22Be)。

2.2.2 注浆孔布置

注浆孔的平面位置(孔距和排距)、孔深和注浆角度,对注浆加固效果起着非常重要的作用。为了达到理想的沉降控制效果,注浆体积置换率(浆液扩散率)应不小于95%,由此确定浆液扩散半径^[16]。采取如下布置方案:注浆孔行距0.5 m,排距1 m,采用梅花形布置,注浆孔角度为12°~66°,引孔直径110 mm,注浆深度11 m,从地面下1 m处开始注浆,设计方案的平面及横断面见图2,注浆孔位参数见表2。

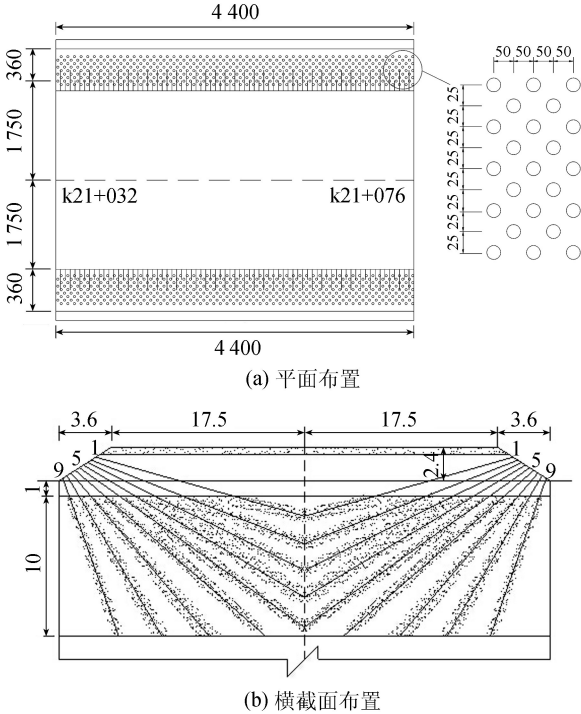


图 2 注浆孔平面及横截面布置(单位:cm)

表2 注浆孔位参数

钻孔标号	注浆角度/(°)	钻孔长度/m	注浆深度/m
1	12	19.4	6.5
2	17	20.2	11.5
3	21	21.1	14.5
4	25	22.1	16.9
5	29	23.3	19.1
6	34	20.9	17.6
7	43	17.0	14.6
8	53	14.2	12.4
9	66	12.3	10.5

注:注浆角度为与地面的夹角。

3 处置效果分析

3.1 监测点位布置

路面高程监测是工程质量监测的重要组成部分,也是衡量加固方法治理效果的标准之一。根据施工过程中路面变化情况可以及时调整钻孔进度、注浆压力和注浆量等施工参数,以防止路面沉降或隆起值过大造成路面开裂,同时高程监测可以反映应用侧向辐射注浆加固技术后的工后沉降。监测点位布置如图3所示。

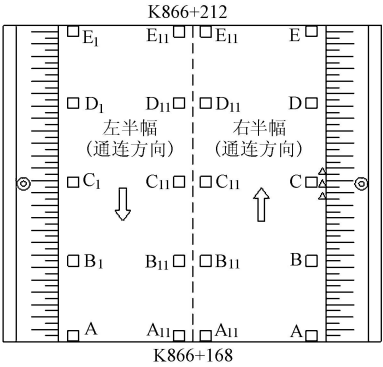


图3 高程监测点布置

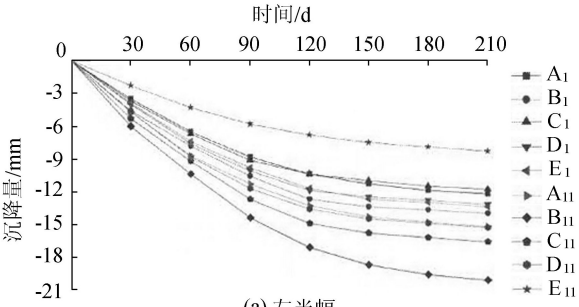
该路段布置20个表面沉降钉,左右半幅路面各10个,其中5个沿路段长度均匀布置在路肩内侧的应急车道内,另外5个对应地布置在绿化带外侧的超车道内。

3.2 工后沉降分析

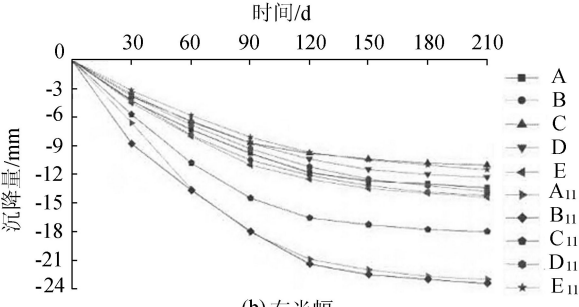
沉降变化规律是对注浆施工后路面沉降变化进行动态监控的重要指标,通过沉降时程曲线,可推算地基的最终工后沉降,并检验软土地基的治理效果。

选取K866+168—K866+212路段进行工后沉降分析,图4为路面工后沉降曲线。

总的来看,在工后3—4个月内路面沉降速率较快,5个月 after 出现收敛趋势。从图4可以看出,目前大部分监测点的沉降量为1.2~1.7 cm,只有个别监测点的沉降量较大,其中右半幅路面A₁₁的沉降量达2.3 cm,B₁₁的沉降量达2.4 cm,C₁₁的沉降量为1.8 cm,这一方面可能是由于这些位置处的地基附



(a) 左半幅



(b) 右半幅

图4 路面工后沉降曲线

加应力较大,另一方面可能是这些区域下的地基土注浆量较多,浆液固化收缩引起较大的路面沉降。从工后7个月的沉降数据来看,软土地基经侧向辐射注浆加固后,其工后沉降量较小,且路面沉降已趋于收敛,预测最大路面沉降约为2.6 cm。以上分析结果表明,注浆加固后软土地基的固结变形量显著减少,有效控制了路基的差异沉降。

4 结论

a. 选取路段的沉降病害主要是由于衔接的不同路段采用不同的地基处理方法,即路基刚度不同而引起的不均匀沉降,加上逐渐增加的车辆荷载和历年的路面加铺引起的新荷载带来的更大沉降变形,使软土地基的沉降病害处于一种恶性循环状态。

b. 侧向辐射注浆加固法具有对原有路堤破坏小、不影响高速公路正常通车的特点,以及施工简单、施工周期短、占用施工场地范围小等优点。

c. 侧向辐射注浆加固法治理已通车高速公路工后沉降速率和沉降量均较小,最后逐渐趋于收敛,治理效果良好,具有较好的推广前景和应用价值。

参考文献:

[1] 潘晓东,杜志刚,杨晓光,等. 桥头跳车对行车安全影响评价指标的研究[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2006,34(5):634-637.
[2] 周健,曾庆有,王浩,等. 沉降控制复合桩基在桥头跳车问题中的应用[J]. 土木工程学报,2006,39(1):83-86.
[3] 沈水龙,石名磊,杜守继,等. 软土地基上道路桥头跳车缓解工法的设计与工程实践[J]. 岩石力学与工程学

报,2005,24(7):1173-1177.

[4] 张有,欧阳永龙. 浅议岩土注浆加固技术的发展与应用[J]. 中国矿业,2005,14(6):70-72.

[5] 韩立军,宗义江,韩贵雷,等. 岩石结构面注浆加固抗剪特性试验研究[J]. 岩土力学,2011,32(9):2570-2576,2622.

[6] 王晓亮,侯伟清,叶子剑,等. 北京地铁 10 号线二期某区间粉细砂地层帷幕注浆效果评价研究[J]. 施工技术,2014,43(1):114-117.

[7] 许岩. 袖阀管劈裂注浆在道路工程软基处理中的应用[J]. 山西建筑,2011,37(20):156-157.

[8] 闻生. 软基注浆加固技术研究综述[J]. 山西建筑,2005,31(20):102-103.

[9] 周予启,史春芳,任耀辉,等. 袖阀管注浆技术在深圳平安金融中心深基坑工程中的应用[J]. 施工技术,2013,42(7):9-11.

[10] 李团. 城市水泥混凝土道路加铺改造的设计方法和修复方案[J]. 河南科技,2014(1):68.

[11] 刘朝权,李国维. 软基路堤等载超载预压模拟室内试验研究[J]. 公路,2007(8):90-95.

[12] 吴景海,王德群,陈环,等. 土工合成材料加筋砂土三轴试验研究[J]. 岩土工程学报,2000,22(2):199-204.

[13] 孙锋,张顶立,王臣,等. 劈裂注浆抬升既有管道效果分析及工程应用[J]. 岩土力学,2010,31(3):932-938.

[14] 吴顺川,金爱兵,高永涛,等. 袖阀管注浆技术改性土体研究及效果评价[J]. 岩土力学,2007,28(7):1353-1358.

[15] 李文. 路基沉陷劈裂注浆处治试验研究及力学参数计算[D]. 长沙:长沙理工大学,2013.

[16] 张忠苗,邹健. 桩底劈裂注浆扩散半径和注浆压力研究[J]. 岩土工程学报,2008,30(2):181-184.

(收稿日期:2014 - 09 - 29 编辑:胡新宇)

(上接第 13 页)

在上述计算的基础上,分别对 3 种因素与水泥土抗压强度的各个关联系数进行算术平均即可得到该因素与水泥土抗压强度的关联度数值。表 7 中列出了相关的计算结果,水泥土密度与这些因素的关联度计算与上述过程基本一致,在此不再赘述。通过表 7 可以直观地看出各个因素对水泥土抗压强度与密度大小的影响程度,可以看出在这 3 种因素中,对水泥土抗压强度影响较大的因素是土体含水率与水泥掺入比,这与水泥土抗压强度试验的结果相吻合的。因此,在实际工程中要想提高水泥土的成桩质量,可以在考虑成本因素的同时从降低土体的含水率与增加水泥掺入比这两个方面来进行改良,能够起到事半功倍的效果。

表 7 各因素关联度计算结果

项目	含水率	水泥掺入比	龄期
水泥土抗压强度	0.59	0.64	0.58
水泥土密度	0.71	0.76	0.45

4 结 论

- a. 在高含水率情况下水泥土的强度受到多种因素的影响,在土体含水率、水泥掺入比与龄期 3 个因素中,水泥掺入比与土体含水率对水泥土强度的影响最为显著。
- b. 在相同的水泥掺入比与龄期情况下,水泥土强度随土体含水率增大而减小,特别在土体含水率超过 70% 后,水泥土的强度下降幅度超过 50%,因此,在实际工程中粉喷桩不宜在土体含水率超过

70% 的地区使用,若必须使用则需要采取相应的处理措施。

c. 增加水泥掺入比,可以有效地提高水泥土的抗压强度,因此在实际工程中若遇到高含水率的情况时,应在可能的范围内使用较高的水泥掺入比,以提高粉喷桩的成桩质量。

参考文献:

[1] 李国维,姜微,吴玉财,等. 预置管法静力触探检测水泥搅拌桩现场试验[J]. 岩土工程学报,2013,35(7):1289-1296.

[2] 李善梅,陈先华,蒙剑坪. 水泥搅拌桩在桂林红粘土地基处理中的应用[J]. 路基工程,2011(2):132-134.

[3] 王保田,宋为广,赵辰洋,等. 水泥含量测定法控制水泥搅拌桩施工质量研究[J]. 长江科学院院报,2014,31(7):109-113.

[4] 朱家祥,吴继敏. 混凝土芯水泥土搅拌桩在基坑支护中的应用[J]. 河海大学学报:自然科学版,2006,34(2):185-188.

[5] 丁海涛,杨保全. 水泥土搅拌桩时间效应与质量检测评分方法探讨[J]. 水利水电科技进展,2005,25(1):48-50.

[6] 向玮,刘松玉,朱志铎,等. 变径水泥土搅拌桩加固桥头软基的试验分析[J]. 解放军理工大学学报,2009,10(5):478-482.

[7] 张岐山,郭喜江,邓聚龙. 灰关联熵分析方法[J]. 系统工程理论与实践,1996,(8):7-11.

[8] 刘思峰,蔡华,杨英杰,等. 灰色关联分析模型研究进展[J]. 系统工程理论与实践,2013,33(8):2041-2046.

(收稿日期:2014 - 09 - 28 编辑:周红梅)