

粉喷桩加固高速公路软土地基的应用效果分析

陈俊彦

(山西省交通规划勘察设计院有限公司, 山西 太原 030032)

摘要:以某高速公路软土路段为例,通过建立有限元分析模型,研究粉喷桩加固软土地基的土体应力及变形规律,并针对粉喷桩加固软土地基效果进行对比分析。结果表明,土体竖向应力分布大致呈斜条状,应力大小沿地基表面向地基底部逐渐增大;地基表面最大沉降最终出现在路基底部中心线,路基外侧地基后出现一定程度隆起;靠近路基中心桩体水平变形较小,靠近路基两侧桩体水平位移较大;粉喷桩加固可降低地基沉降,防止路基外侧地基过大隆起;粉喷桩加固对于减小路基底部两侧土体水平变形效果显著。

关键词:公路;粉喷桩;软土地基;加固效果

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)05-0045-03

软土地基的承载力弱、渗透性差、压缩性大,需采取加固措施才能使其承载力达到公路设计要求。为此,国内外学者对加固软土地基的方法展开了大量研究。洪景春分析了采用粉喷桩处理埋置厚度大于 3 m 的软土地基的加固机理、施工流程及施工效果。谢腾骁采用粉喷桩处理公路软土路基,并对其加固效果进行了数值分析。杜毅研究了不同碎石桩埋深、碎石桩间距、地基弹性模量及路堤填方高度对路堤变形的影响,分析了路堤位移和应力变化规律。袁玉卿等采用碎石桩复合地基处治方法减小粉砂土拼接路基的沉降,并通过数值模拟分析了碎石桩长度及模量、桩间土模量及黏聚力对沉降的影响。软土地基加固方法多样,针对不同地质条件应选择最有效的加固方法。该文依托某高速公路软土路段,通过数值分析研究粉喷桩加固软土地基的土体应力和变形规律及加固效果,为粉喷桩应用于类似地质条件软土地基加固提供借鉴。

1 工程概况

某高速公路全长 102.4 km,路面宽 19.5 m,双向四车道。路堤填筑高度 6 m,分 6 层填筑,每次填筑高度 1 m。共有 21 处软土路段,最长 2.1 km,最短 160 m,共约 7.8 km。软土路段的地表浅部软土层基本呈不规则条带状分布,以粉质黏土层为主,含少量粉土层及软弱土层。土层参数见表 1。

由于软土路段的承载能力较低,为保障路基的安全,采用粉喷桩+碎石垫层进行加固。粉喷桩长 8 m,桩径 0.5 m,桩间距 1.5 m,呈梅花形布置,桩身

强度 ≥ 750 kPa。路堤底部增设碎石垫层,厚度 0.5 m。软土层分布及桩体布置见图 1。

表 1 软土路段的土层参数

土层类型	弹性模量/MPa	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	泊松比
粉质黏土 ^①	18	23	7.2	0.28
粉土	17	22	6.7	0.27
粉质黏土 ^②	18	23	7.2	0.33
软弱土	5	19	3.4	0.35
粉质黏土 ^③	18	23	7.6	0.31

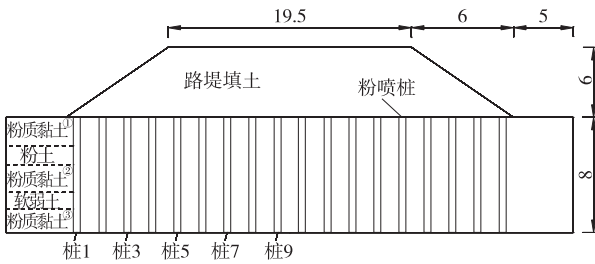


图 1 软土层分布及桩体布置示意图(单位:m)

2 建立有限元模型

以软土路段某截面的土层分布和加固设计参数为依据,运用有限元软件 ANSYS 建立数值模型。模型尺寸为长 42 m \times 宽 10 m \times 高 14 m,共包含 4 176个单元、6 324 个节点(见图 2)。模型中粉喷桩采用线弹性模型模拟,弹性模量为 55 MPa,黏聚力为 4.7 kPa,内摩擦角为 35°,泊松比为 0.20。路基采用 Drucker-Prager 本构模型模拟。

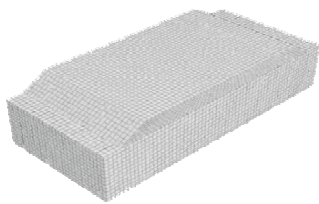


图2 有限元模型网格划分

分析过程遵循以下假定条件:不考虑活载作用,仅考虑土体自重的影响;粉喷桩、碎石垫层材料均视为同性均质材料,土体视为理想弹塑性体;地基、桩体、路基及土体间的接触面均视为完全连续。

约束条件:模型左右两侧设置为自由界面,对前后两侧进行水平位移约束,地基地部施加水平和竖向位移约束。

3 路堤填筑过程中应力及变形分析

运用有限元数值模型,对路堤填筑过程中地基桩土体应力、地表沉降及桩体变形变化进行分析。

3.1 桩土体应力

分别计算路堤填筑高度为2、4及6 m时地基竖向应力,不同路堤填筑高度下地基竖向应力分布见图3。

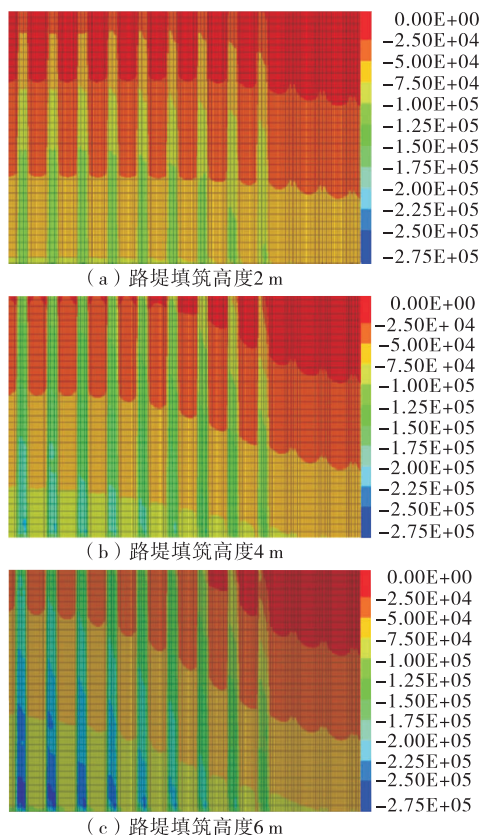


图3 不同路堤填筑高度下地基竖向应力分布(单位:Pa)

由图3可知:在不同路堤填筑高度下,土体竖向应力分布大致呈斜条状,应力大小沿地基表面向地基地部逐渐增大,且斜度随着填筑高度的增大而增大。桩体竖向应力远大于桩间土体应力,其中路基底部中心线位置的桩土体竖向应力最大,靠近路基两侧的桩土体竖向应力较小,且随着路堤填筑高度的增大,越靠近路基中心线的桩土体竖向应力增幅越大。填筑高度达到6 m时,地基中心桩体和桩间土体承受的竖向应力均达到最大值,分别为275和125 kPa。

3.2 地基表面沉降

分别计算路堤填筑高度为2、4及6 m时地基沉降,不同路堤填筑高度下地基沉降见图4。

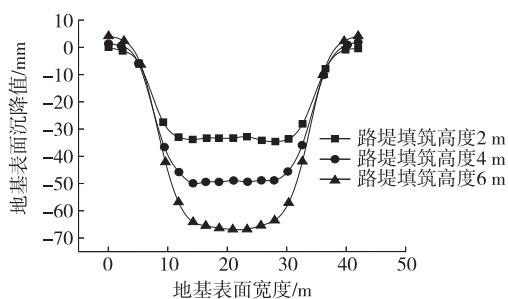


图4 不同路堤填筑高度下地基沉降

由图4可知:随着路堤填筑高度的增大,地基表面沉降呈较大增大趋势,且越靠近路基底部中心线桩土体沉降越大。填筑高度为2 m时,路基内侧地基最大沉降出现在28 m处,约为34.4 mm;外侧地基出现较小沉降。填筑高度为4 m时,路基内侧地基最大沉降出现在24 m处,约为48.7 mm;外侧地基出现较小程度隆起,最大幅度为2.1 mm。填筑高度达到6 m时,路基内侧地基最大沉降出现在21 m处,约为66.7 mm;外侧地基隆起幅度增大,最大达4.4 mm。表明随着路堤填筑高度的增大,地基表面最大沉降最终出现在路基底部中心线,路基外侧地基后出现一定程度隆起。

3.3 桩体位移分析

计算路堤填筑完成后桩体位移,不同位置桩体位移变化见图5。

由图5可知:路堤填筑完成后,不同位置加固桩的水平位移变化不同,靠近路堤底部中心位置桩体主要承受竖向压力,桩体发生较大竖向位移,但水平位移较小,且越靠近路基中心桩体水平变形越小;靠近路基外侧桩体主要承受侧向压力,桩体出现较大水平位移,主要表现为弯曲变形,且越靠近路基两侧

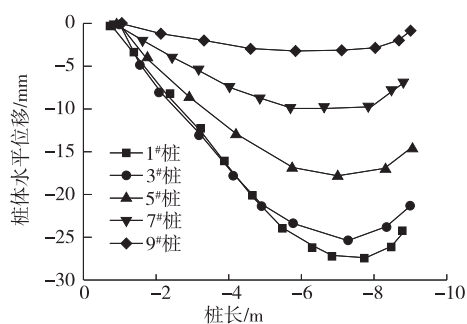


图5 路堤填筑完成后桩体水平位移化

桩体水平位移越大,但竖向位移相对中心桩体小很多。表明不同位置加固桩具有不同的加固作用,合理设置桩体布置形式有利于地基加固。

4 粉喷桩加固效果分析

为研究粉喷桩加固高速公路软土地基的效果,分别针对有无桩体加固的地基沉降和土体水平位移变化进行对比分析。

4.1 地基沉降对比分析

分别计算路堤填筑高度为2、4及6 m,有无加固桩时地基表面沉降,结果见图6。

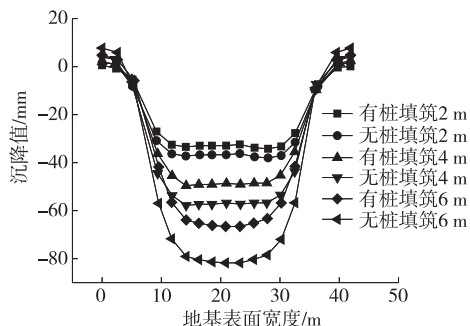


图6 不同填筑高度下有无加固桩时地基表面沉降

由图6可知:在路堤填筑过程中,无粉喷桩加固的地基沉降始终大于有桩加固地基,且随着路堤填筑高度的增大,无桩加固的地基沉降增长趋势较大,主要表现为路基内侧地基下沉幅度较大,路基外侧地基出现隆起。采用粉喷桩加固后,随着路堤填筑高度的增大,路基外侧地基隆起现象有所收敛,填筑高度为2、4及6 m时路基内侧地基最大沉降分别减小11.3%、16.4%和22.7%,路堤填筑完成后地基沉降得到较大程度减小,表明采用粉喷桩加固可有效降低软土地基的沉降。

4.2 土体水平位移对比分析

分别计算路堤填筑完成后有无加固桩时土体水平变形,结果见图7。

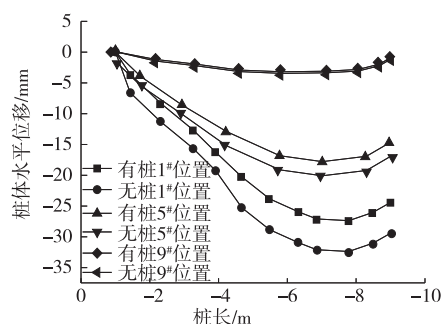


图7 有无桩加固时土体水平位移

由图7可知:在路堤填筑过程中,无粉喷桩加固土体水平位移大于有桩加固土体,且越靠近路底部两侧土体水平位移差异越大,而靠近路底部中心位置土体水平位移差异不大。原因是中心桩体和土体主要受到竖向应力作用,其产生的水平变形较小。采用粉喷桩加固后,中心桩体9#的水平位移减小约8.1%,减大幅度较小,而路底部两侧桩体1#和5#的水平位移分别减小约18.2%、12.7%,减大幅度较大。表明采用粉喷桩加固对于减小路底部两侧土体水平位移效果更明显。

5 结论

(1) 土体竖向应力分布大致呈斜条状,应力大小沿地表面向地底部逐渐增大,且斜度随着路堤填筑高度的增大而增大。

(2) 随着路堤填筑高度的增大,地基表面最大沉降最终出现在路底部中心线,路基外侧地基后出现一定程度隆起。

(3) 路堤填筑完成后,靠近路堤底部中心位置的桩体主要承受竖向压力,越靠近路基中心桩体水平变形越小;靠近路基外侧的桩体主要承受侧向压力,越靠近路基两侧桩体水平位移越大。

(4) 采用粉喷桩加固后,路基外侧地基隆起现象有所收敛,路基内侧地基沉降最大减小22.7%,有效降低了软土地基沉降变形。

(5) 粉喷桩加固对于减小路底部两侧土体水平变形的效果显著,对于减小路底部中心桩体水平变形的效果较弱。

参考文献:

- [1] 杨春风,刘聪.城市化发展下高速公路路线设计指标研究[J].公路,2018(2):7-13.
- [2] 王蒙,蔡国军,刘文亮,等.基于CPTU测试的高速公路

(下转第51页)

水率略低于天然含水率 1.2%~2.4%,但大于最佳含水率 7%~8.4%,两试验路现场检测压实度基本上能达到文献[12]中方法确定的压实度下限值。

不论填筑含水率高低,含砂低液限黏土路基含水率会从初始压实控制含水率逐年升至平衡含水率,在南方湿润地区花大量时间翻晒含砂低液限黏土降低含水率进行填筑不仅耗时耗力且效果不好。由于平衡含水率大于吸附结合水含量,在含砂低液限黏土路基湿度平衡后的运营期直至设计使用年限末期,含砂低液限黏土中的吸附结合水含量都相对稳定,吸附结合水具有一定的强度又难以排出,湿润地区路基工程中吸附结合水可看作含砂低液限黏土中稳定的一部分。第3节的试验结果也说明试验初始含水率在吸附结合水含量附近时水稳定性好、CBR强度能满足规范要求。因此,广连高速公路含砂低液限黏土宜在偏湿条件下进行施工。按文中压实度标准填筑广连高速公路路基,既可充分利用天然含水率过高的含砂低液限黏土,又可保证含砂低液限黏土路基的施工效率。

5 结论

(1) 含砂低液限黏土中含有大量吸附结合水,且其含量略低于塑限。

(2) 广东广连高速公路典型含砂低液限黏土的 CBR 峰值含水率比最佳含水率高 2%~3%;其 CBR 膨胀量均随初始含水率的降低而增大,初始含水率低于吸附结合水含量时试样浸水后的膨胀量显著增大;初始含水率在吸附结合水含量附近时 CBR 强度较好,且水稳性好;其压缩性较好,在高含水率状态下也能满足规范对填料压缩性的要求。

(3) 在南方湿润地区,含砂低液限黏土宜在偏湿条件下施工,可采用文献[12]中适用于南方湿润地区的含砂低液限黏土压实度控制标准。吸附结合

水含量越大大于最佳含水率,含砂低液限黏土路基压实度控制的下限值越低。

参考文献:

- [1] 吴立坚,钟发林,吴昌兴,等.高液限土路基填筑技术研究[J].中国公路学报,2003,16(1):32-35+39.
- [2] 杨世基.黏性土路基的压实和稳定性[J].中国公路学报,1989,12(3):1-10.
- [3] 吴立坚,陈礼彪,张燕清,等.高塑性土路基压实与压实标准[J].公路,2007(3):33-35.
- [4] 中交第二公路勘察设计研究院有限公司.公路路基设计规范:JTG D30-2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [5] 吴立坚,郑甲佳,邓捷.高液限土路基的沉降变形规律[J].岩土力学,2013,34(增刊2):351-355.
- [6] 张锐,肖宇鹏,刘闯.海南高液限土结合水试验研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2019,16(1):10-16.
- [7] 吴凤彩.黏性土的吸附结合水测量和渗流的某些特点[J].岩土工程学报,1984,6(6):84-93.
- [8] 李硕,王常明,吴谦,等.上海淤泥质黏土固结蠕变过程中结合水与微结构的变化[J].岩土力学,2017,38(10):2809-2816.
- [9] 郑健龙,缪伟.膨胀土路基温度现场观测分析与研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2007,4(4):12-15.
- [10] 邵玉娟,施斌,刘春,等.黏性土水理性质温度效应研究[J].岩土工程学报,2011,33(10):1576-1582.
- [11] 郑健龙,张锐.公路膨胀土路基变形预测与控制方法[J].中国公路学报,2015,28(3):1-10.
- [12] 张锐,肖宇鹏,刘闯,等.考虑吸附结合水影响的高液限土路基压实度控制标准[J].中国公路学报,2020,33(1):32-40+50.

收稿日期:2020-01-20

(上接第47页)

- 改扩建新老地基土工程特性评价研究[J].岩土工程学报,2019,41(增刊2):81-84.
- [3] 杨慧,胡隼.布袋灌注桩技术在软土路基处理工程中的应用研究[J].公路工程,2019,44(4):202-207+231.
 - [4] 董建松,欧阳彦,陈正斌.湿喷桩加固技术在软土地基控制桩基成孔施工中的应用[J].公路,2019(5):118-120.
 - [5] 洪景春.粉喷桩处理软基施工技术研究[J].工程技术研

究,2019,4(8):68-69+137.

- [6] 谢腾骁.粉喷桩施工技术在软土路基中的应用研究[J].施工技术,2017,46(增刊1):242-246.
- [7] 杜毅.碎石桩处理软土路基变形影响因素分析[J].公路工程,2019,44(4):213-216+290.
- [8] 袁玉卿,刘文利,张得嵩.碎石桩控制粉砂土拼接路基沉降的数值模拟[J].公路,2017(10):57-61.

收稿日期:2019-12-13