

公路软土路基沉降分析及加固处理研究

杨春晖

陕西建通工程咨询有限公司, 陕西 西安 710000

[摘要]近年来,我国公路交通工程迅速发展,已经成为当前交通网络中不可或缺的重要选择。但软土地层上的公路路基填筑施工的风险依然较高,这主要是由于软土地层具有敏感性,且在雨水、堆载等的作用下,软土地层变形可能较大,因此可能导致完工后出现路面开裂、沉降、坍塌等事故。文章以某市软土地基上的路基填筑工程为研究对象,深入研究了软土地层条件下公路路基的沉降变化,并针对桩基础加固方案,设置了不同桩体数量、不同桩体长度等对比工况,分析了对比了不同加固方案的加固效果,以期类似工程施工提供参考

[关键词]软土地层;公路路基;沉降变形;加固桩

DOI: 10.33142/ec.v7i8.12986

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Research on Settlement Analysis and Reinforcement Treatment of Highway Soft Soil Roadbed

YANG Chunhui

Shaanxi Jiantong Engineering Consulting Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: In recent years, highway transportation engineering in China has developed rapidly and has become an indispensable and important choice in the current transportation network. However, the risk of road roadbed construction on soft soil layers is still high. This is mainly due to the sensitivity of soft soil layers, and the deformation of soft soil layers may be significant under the action of rainwater, stacking, etc., which may lead to accidents such as road cracking, settlement, and collapse after completion. The article takes the roadbed filling project on a soft soil foundation in a certain city as the research object, and deeply studies the settlement changes of highway roadbeds under soft soil layer conditions. For pile foundation reinforcement schemes, different pile numbers and lengths are set up to compare the reinforcement effects of different reinforcement schemes, in order to provide reference for similar engineering construction

Keywords: soft soil strata; road roadbed; settlement deformation; reinforced piles

引言

近年来,我国公路交通工程迅速发展,已经成为当前交通网络中不可或缺的重要选择。但随着公路交通网络覆盖程度的提高,不可避免地要穿越各种复杂地层,其中软土地基上的公路路基填筑施工的风险较高^[1],这主要是由于软土地层具有敏感性,且在雨水、堆载等的作用下,软土地层变形可能较大,因此可能导致完工后出现路面开裂、沉降、坍塌等事故^[2]。针对上述问题,需要针对软土公路路基进行专门验算,存在较大沉降变形时需要进行路基加固,并在深入了解软土地层特性、周边环境特点等的基础上,考虑软土地层的加固方案,如施做混凝土桩基础、混凝土搅拌桩等等^[3-4],其中桩体数量、桩体长度等的加固设计参数将直接影响加固效果,必须开展深入研究。本文以某市软土地基上的路基填筑工程为研究对象,深入研究了软土地层条件下公路路基的沉降变化,并针对桩基础加固方案,设置了不同桩体数量、不同桩体长度等对比工况,分析了对比了不同加固方案的加固效果,以期类似工程施工提供参考。

1 工程概况

公路路基对土的填筑和固结要求较高,否则容易发生路堤开裂、沉降、坡脚变形等问题,在对于软土地层来说,

由于软土地层的敏感性,以及降雨等的作用下,软土地层上的公路路基填筑更加需要特别防范过大沉降变形的发生,因此探明软土地层上公路路基修筑过程中的固结规律及稳定性对于保障施工安全十分重要。本文以某市软土地基上的公路路基修筑为依托工程,设置了混凝土加固桩(考虑不同桩体数量和长度等对比工况),深入研究公路软土路基的沉降规律及加固桩的加固效果。

该公路软土路堤结构横断面如下图,其中路堤宽度为12m,路堤高度为4m,路堤分为2层进行填筑,每层2m。路堤为砂土,路堤下部各土层从上至下分别为3m厚含砂粉质黏土层、3m厚淤泥质粉质黏土层、4m厚砂层。地下水位高度在地面以下1m处。为保证公路软土路堤填筑稳定,采用直径50cm的混凝土加固桩进行地层加固,并对比了不同数量加固桩、不同长度加固桩两种方案。

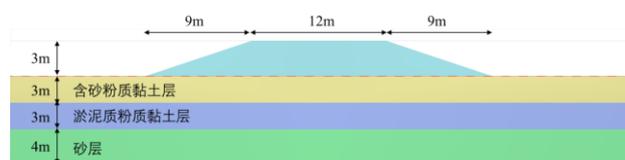


图1 地层及路堤尺寸示意图

不同数量加固桩方案：设置了 10 根、20 根、38 根三种不同数量加固桩对比工况。

不同长度加固桩方案：设置了 2m、4m、6m 三种不同长度加固桩对比工况。

由于路堤修筑过程中的沉降变形过程是与时间有关的，因此必须参考实际施工组织 and 进度安排作分析，加固方案的施工步骤如下：①初始计算步，进行地应力平衡；②设置加固桩，填筑第一层路堤；③第一层路基固结 30 天；④填筑第二层路基；⑤直至路基固结完成（超孔隙水压力小于 1kPa），研究软土地基沉降变形情况。

2 模型建立

本文采用大型岩土三维有限元计算软件 Plaxis3D 进行模拟。一般工程上对于明显的对称结构可以建立半结构的对称模型，以提高计算速度和效率，本例中以路堤中点为原点，建立半对称计算模型。

针对公路软土路基的变形问题，必须考虑软土地层特有的敏感性，尤其是在含水条件下的敏感性，计算中在选择土体结构模型时采用了更加贴合软土力学特点的小应变土体结构模型^[5]。地层及路堤均采用实体单元模拟，桩体采用结构 Pile 单元模拟，计算过程中考虑孔隙水的作用。整体计算模型如图 2 所示，按填筑过程来看，模拟如图 3 所示。不同数量加固桩和不同长度加固桩的模型如图 4 所示。

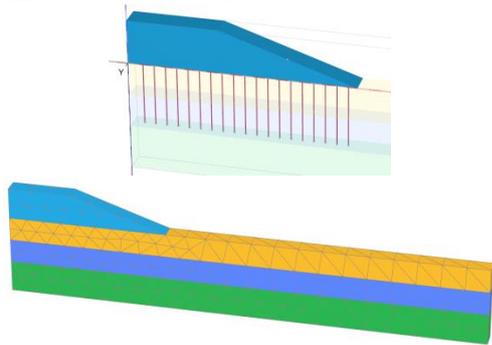


图 2 路基填筑计算整体模型

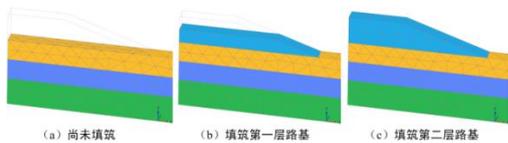


图 3 路基填筑过程三维模型

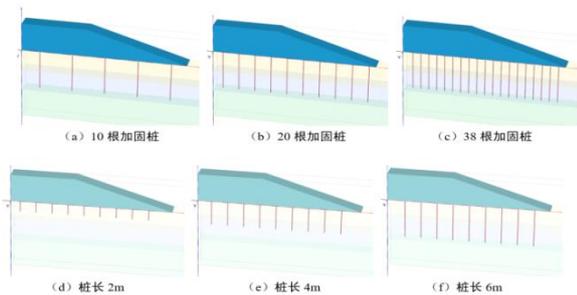


图 4 不同工况加固桩的计算模型

3 参数选取及边界条件

本计算模型中的路堤层、杂填土、淤泥质粉质黏土、粉质黏土等的土层物理力学参数选取如表 1 所示。

本计算模型中的边界条件：对称面处无水平渗流，关闭左侧边界渗流，固定水平自由度；模型顶部渗流边界打开，打开顶部地表自由度边界；底部渗流边界打开，底部垂直自由度打开。

4 计算结果分析

4.1 无加固条件下路基变形分析

在计算分析混凝土桩对软土路基的加固效果之前，需要充分评估无加固方案下的路基自然变形程度。本算例中考虑路基填筑过程，每个施工步骤中的路基沉降变形如图 5 所示，由图可知，在无加固方案条件下，第一层路基填筑完成后上表面沉降变形达到 0.26m，固结 30 天后第一层路基上表面沉降变形达到 0.77m，第二层路基填筑完成后上表面沉降变形达到 0.83m，待完整路基固结完成后整体路基上顶面沉降变形达到 1.11m。从路基沉降变形特点来看，路基上表面沉降变形均较大，且最大沉降变形位置均出现在路基两侧的坡顶处，这主要是由于路基及下部缺乏加固，路基两侧边坡出现滑移破坏的趋势。

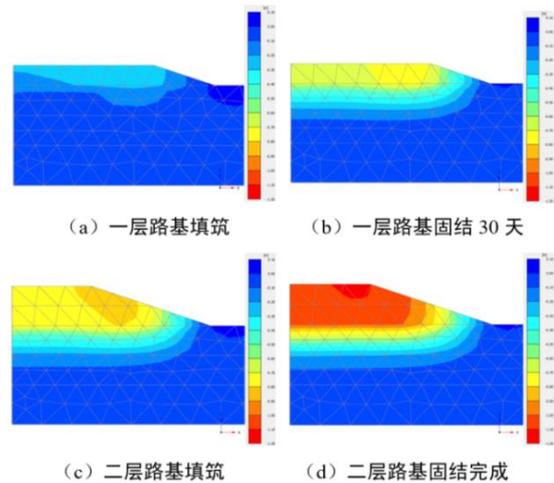


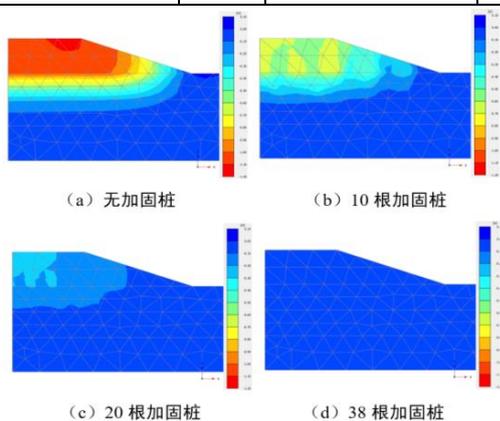
图 5 无加固方案路基沉降变形云图

4.2 不同加固桩数量对加固效果的影响

为了减小软土路基填筑过程中的沉降变形，需要对路基下部软土进行加固，并针对加固桩数量设置了多工况对比分析，包括无加固桩、10 根、20 根、38 根共 4 个工况，桩长统一为 6m。每个工况下的路基沉降变形云图如图 6 所示。由图可知，在无加固方案条件下，路基全部填筑完成并固结完成后上表面沉降变形达到 1.11m；在 10 根加固桩条件下，路基全部填筑完成并固结完成后上表面沉降变形达到 0.67m；在 20 根加固桩条件下，路基全部填筑完成并固结完成后上表面沉降变形达到 0.22m；在 38 根加固桩条件下，路基全部填筑完成并固结完成后上表面沉降变形达到 0.08m。

表 1 地层模型参数选取

参数	符号	路堤层	砂层	含砂粉质黏土	粉质黏土	单位
一般设定						
材料模型	Model	硬化土	硬化土	小应变本构	小应变本构	
排水类型	Type	排水	排水	不排水 A	不排水 A	
地下水位以上土重度	γ_{unsat}	15.8	16.5	12.8	13.9	kN/m ³
地下水位以下土重度	γ_{sat}	17.0	18.0	19.0	19.5	kN/m ³
初始孔隙比	e_{init}	0.5	0.5	—	—	—
参数						
标准三轴排水试验割线刚度	E_{50}^{ref}	2.3×104	3.4×104	—	—	kN/m ²
主固结加载切线刚度	E_{oed}^{ref}	2.3×104	3.4×104	—	—	kN/m ²
卸载/重加载刚度	E_{ur}^{ref}	7.2×104	1.0×105	—	—	kN/m ²
刚度的应力水平相关幂值	m	0.5	0.5	—	—	—
修正压缩指数	λ^*	—	—	0.12	0.04	—
修正膨胀指数	κ^*	—	—	0.025	0.015	—
内聚力	c'_{ref}	1.0	6.0	15.0	26.0	kN/m ²
摩擦角	ϕ'	25.0	33.0	20.0	28.0	°
剪胀角	ψ'	0.0	3.0	0.0	0.0	°
高级参数：默认设置		是	是	是	是	
渗流参数						
数据		USDA	USDA	USDA	USDA	
模型		Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	
土类型		壤质砂土	砂土	软粘土	软粘土	
<2um		6.0	4.0	70.0	70.0	%
2um~50um		11.0	4.0	13.0	13.0	%
50um~2mm		83.0	92.0	17.0	17.0	%
默认设置		是	是	是	是	
x 向渗透系数	K_x	2.973	7.128	0.10	0.03256	m/day
y 向渗透系数	K_y	2.973	7.128	0.10	0.03256	m/day
z 向渗透系数	K_z	2.973	7.128	0.02	0.03256	m/day


图 6 不同加固桩数量条件下路基沉降变形云图

从路基沉降变形特点来看，随着加固桩数量的增多，路基沉降变形位移量显著减小，并且路基两侧的坡顶处的滑移破坏趋势也明显消失。

4.3 不同加固桩长度对加固效果的影响

针对不同加固桩长度对加固效果的影响，在 20 根加固桩的基础上，也设置了多工况对比分析，包括无加固桩、桩长 2m、桩长 4m、桩长 6m 共 4 个工况。每个工况下的路基沉降变形云图如图 7 所示。由图可知，在无加固方案条件下，路基全部填筑完成并固结完成后上表面沉降变形达到 1.11m；在桩长 2m 条件下，路基全部填筑完成并固结完成后上表面沉降变形达到 0.63m；在桩长 4m 条件下，路基全部填筑完成并固结完成后上表面沉降变形达到

0.48m; 在桩长 6m 条件下, 路基全部填筑完成并固结完成后上表面沉降变形达到 0.22m。

从路基沉降变形特点来看, 随着加固桩长度的增加, 路基沉降变形位移量显著减小, 并且路基两侧的坡顶处的滑移破坏趋势也明显消失, 路基最大沉降位移从路基两侧坡顶处向路基中心转移。

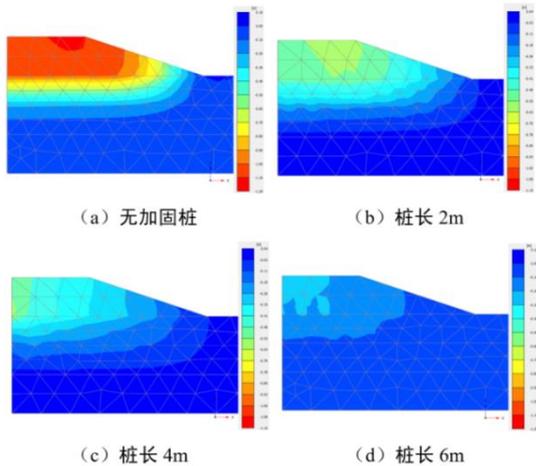


图 7 不同加固桩数量条件下路基沉降变形云图

5 结论

本例以某市公路软土路基上的路基填筑工程为依托工程, 研究了软土地基上公路路基修筑过程中的沉降规律及加固桩处理方案, 并考虑了加固桩不同数量、不同长度

对加固效果的影响。本文以路堤沉降位移为主要研究指标, 对比研究了公路软土路基固结规律和稳定性, 主要得到以下结论:

(1) 软土条件下公路路基填筑及固结过程中沉降变形较大, 需要对软土路基进行处理以防止过大的路基沉降位移;

(2) 随着加固桩数量的增多, 路基沉降变形位移量显著减小, 随着加固桩长度的增加, 路基沉降变形位移量也显著减小。但在实际工程中可在考虑经济性的条件下, 充分保证软土路基的稳定性。

【参考文献】

[1] 郭昌龙. 高速公路软土路基处理措施研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(23): 61-63.
[2] 刘力铭. 软土路基施工技术在高速公路施工中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(9): 51-53.
[3] 刘记. 公路施工软土路基施工技术处理方法[J]. 中国科技信息, 2023(18): 84-86.
[4] 石峰. 公路施工中软土路基的处理措施分析[J]. 工程与建设, 2023, 37(4): 1291-1293.
[5] 陈旋. 公路软土路基加固处理及沉降分析[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(11): 70-72.

作者简介: 杨春晖(1976.8—), 男, 汉族, 陕西汉中, 本科, 西安交通大学。