

# Consolidation Process and Stability Analysis of Subgrade Built on Soft Soil Foundation

Fei She

Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. China Power Engineering Consulting Group, Xi'an, Shaanxi, 710000, China

## Abstract

In recent years, China's road planning and construction have passed through a variety of complex strata, among which the risk of embankment filling construction on soft soil foundation is higher, the risk is mainly due to the roadbed filling is not sufficiently consolidated after the completion of the road cracking, settlement, collapse and other accidents, similar accidents to the local traffic has brought many adverse effects. This paper taking the subgrade filling project on a city soft soil foundation as the research object, sets two conditions with or without drainage line, deeply studies the settlement changes during the process of embankment filling and consolidation, analyzes the development and dissipation law of excess void water pressure in soft soil foundation, calculates the safety factor of embankment structure, etc., in order to provide reference for the construction of similar projects.

## Keywords

weak formation; pile raft foundation; foundation settlement; surface settlement

# 软土地基修建路基的固结过程及稳定性分析

余飞

中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司, 中国·陕西 西安 710000

## 摘要

近年来, 中国道路规划和建设穿越了各种复杂地层, 其中软土地基上的路堤填筑施工的风险较高, 风险主要是由于路堤填筑后没有充分固结导致完工后出现路面开裂、沉降、坍塌等事故, 类似事故给当地交通带来了诸多不利影响。论文以某市软土地基上的路基填筑工程为研究对象, 设置有无排水线两种工况, 深入研究了路堤填筑固结过程中的沉降变化, 分析了软土地基中的超空隙水压发展及消散规律, 计算了路堤结构安全系数等, 以期类似工程施工提供参考。

## 关键词

软弱地层; 桩筏基础; 基础沉降; 地表沉降

## 1 引言

近年来, 中国道路交通发展十分迅速, 道路规划和建设穿越了各种复杂地层, 其中软土地基上的路堤填筑施工的风险较高<sup>[1]</sup>, 风险主要是由于路堤填筑后没有充分固结导致完工后出现路面开裂、沉降、坍塌等事故<sup>[2]</sup>, 类似事故给当地交通带来了诸多不利影响。工程师在针对软土地基设计路堤填筑施工时, 需要充分了解地基特性、工程进度要求等, 并考虑有无排水方案对路堤填筑固结的影响<sup>[3-4]</sup>, 才能做好完善的路堤排水固结施工方案。

论文以某市软土地基上的路基填筑工程为研究对象, 设置有无排水线两种工况, 深入研究了路堤分层填筑固结过程中的沉降变化, 分析了软土地基中的超空隙水压发展及消散规律, 计算了路堤结构安全系数等, 以期类似工程施工

提供参考。

## 2 工程概况

软土地层上的路堤填筑过程中, 对路基土的固结要求较高, 否则容易发生路堤开裂、沉降、坡脚变形等工程事故, 因此探明路堤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。此外, 路堤修筑过程中是否考虑排水也是影响路堤施工进度和路堤稳定性的关键影响要素之一, 论文以某市软土地基上的路基分层填筑工程为研究对象, 设置了无排水线和有排水线两种工况, 从路堤位移、超空隙水压、安全系数等方面出发, 分别计算分析其固结规律和稳定性。

实际工程尺寸如图 1 所示, 图中显示了路堤的一个横断面。该路堤宽 16m, 路堤高 4m, 每 2m 为一层, 分两层进行填筑。路堤边坡的坡度为 1 : 3。路堤本身为松散砂土, 地基土为 6m 厚的软土。该软土层上部 3m 为泥炭土, 下部 3m 为黏土。潜水位位于原始地面以下 1m 处, 软土层以下为密砂层, 可按考虑 4m 厚砂层考虑。

【作者简介】余飞 (1990-), 男, 中国陕西人, 硕士, 工程师, 从事土木工程研究。

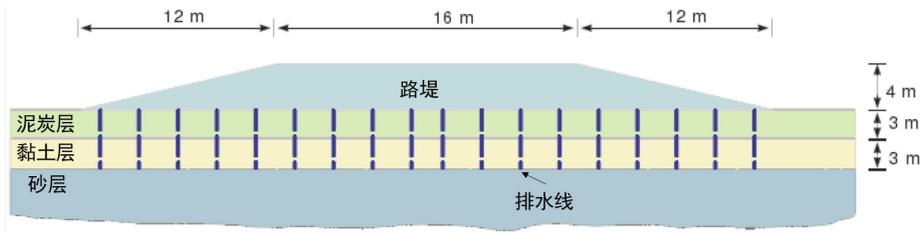


图 1 地层及路堤尺寸示意图

无排水线方案：不在地层中设置排水线。

有排水线方案：在软土地层中设置穿透泥炭层和黏土层的排水线，排水线高度 6m，在路堤宽度方向上每 2m 横向间距设置一处排水线，在沿道路方向上每 2m 纵向间距设置一处排水线。

由于路堤修筑过程中的固结过程是与时间有关的，因此必须参考实际施工组织 and 进度安排做分析，按照无排水线和有排水线两种方案，两种方案的施工步骤如下：

无排水线方案的施工步骤：①初始计算步，进行地应力平衡；②填筑第一层路堤，用时 2 天；③固结 30 天；④填筑第二层路堤，用时 1 天；⑤直至路基固结完成（超孔隙水压小于 1kPa）。

有排水线方案的施工步骤：①初始计算步，进行地应力平衡；②设置排水线，填筑第一层路堤，用时 1 天；③固

结 1 天；④填筑第二层路堤，用时 1 天；⑤直至路基固结完成（超孔隙水压小于 1kPa）。

### 3 模型建立

论文采用大型岩土三维有限元计算软件 Plaxis3D 进行模拟。由于工程本身具有对称性，因此仅需以路堤中心为原点，建立 1/2 对称计算模型（本例选择右半部分）。在模型纵向上考虑 2m 长的具有代表性的断面进行分析。

考虑到软土地层的敏感性，为了保证对土层变形等物理力学行为的正确计算，泥炭层和黏土层土体采用 SS 软土本构模型模拟，路堤砂土及基层砂土采用 HS 硬化土本构模型模拟<sup>[9]</sup>。地层及路堤均采用实体单元模拟。排水线则透水的水压为零的水力边界条件进行等效模拟。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，无排水线和有排水线的模型区别如图 4 所示。

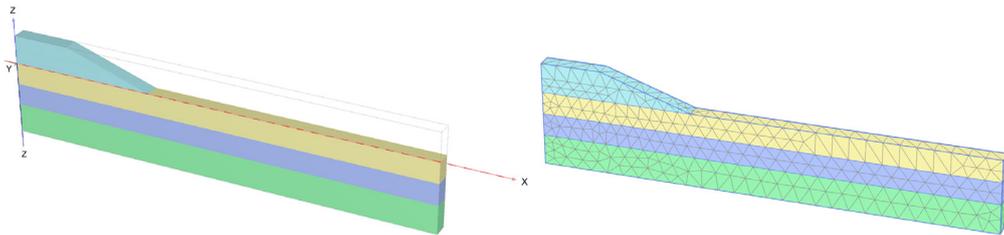


图 2 路基填筑计算整体模型

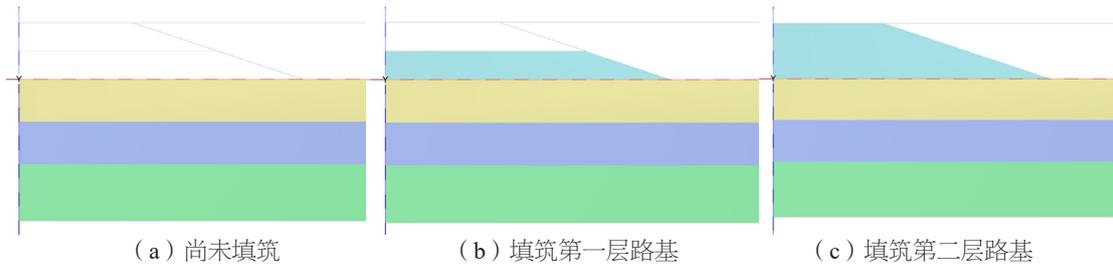


图 3 路堤填筑过程的计算模型

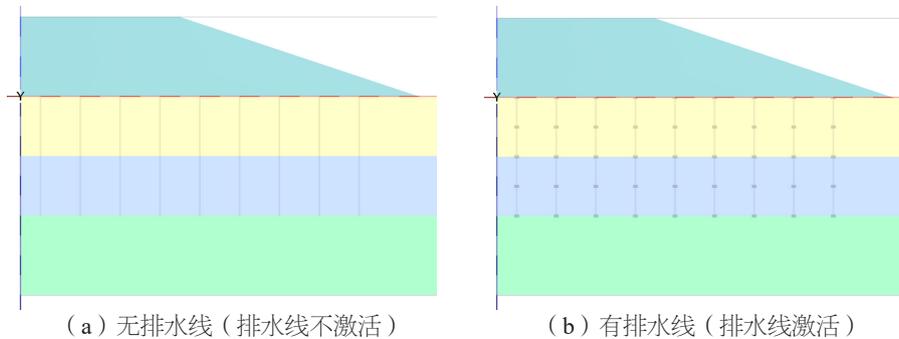


图 4 无排水线和有排水线的模型区别

## 4 参数选取及边界条件

泥炭土、黏土、砂土、路堤等的物理力学参数如表 1 所示。

表 1 地层模型参数选取

参数	符号	路堤	砂土	泥炭土	粘土	单位
一般设定						
材料模型	Model	硬化土	硬化土	软土	软土	
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	$\gamma_{unsat}$	16.0	17.0	8.0	15.0	kN/m <sup>3</sup>
地下水位以下土重度	$\gamma_{sat}$	19.0	20.0	12.0	18.0	kN/m <sup>3</sup>
初始孔隙比	$e_{mit}$	0.5	0.5	2.0	1.0	—
参数						
标准三轴排水试验割线刚度	$E_{50}^{ref}$	$2.5 \times 10^4$	$3.5 \times 10^4$	—	—	kN/m <sup>2</sup>
主固结加载切线刚度	$E_{oed}^{ref}$	$2.5 \times 10^4$	$3.5 \times 10^4$	—	—	kN/m <sup>2</sup>
卸载 / 重加载刚度	$E_{ur}^{ref}$	$7.5 \times 10^4$	$1.05 \times 10^5$	—	—	kN/m <sup>2</sup>
刚度的应力水平相关幂值	$m$	0.5	0.5	—	—	—
修正压缩指数	$\lambda^*$	—	—	0.15	0.05	—
修正膨胀指数	$\kappa^*$	—	—	0.03	0.01	—
内聚力	$c'_{ref}$	1.0	0.0	2.0	1.0	kN/m <sup>2</sup>
摩擦角	$\varphi'$	30.0	33.0	23.0	25.0	°
剪胀角	$\psi'$	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	粘土	粘土	
<2um		6.0	4.0	70.0	70.0	%
2~50um		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	$K_x$	3.499	7.128	0.1	0.04752	m/day
y 向渗透系数	$K_y$	3.499	7.128	0.1	0.04752	m/day
z 向渗透系数	$K_z$	3.499	7.128	0.02	0.04752	m/day
渗透系数变化	$C_k$	$1 \times 1015$	$1 \times 1015$	1.0	0.2	—

渗流边界条件的设置: 由于对称性模型的特点, 左侧竖向向渗流边界关闭, 避免在对称面处发生水平方向的渗流。上部边界打开, 底部渗流边界打开, 因为超孔压可以自由流入下部渗透性大的砂土层中。

## 5 计算结果分析

### 5.1 路堤沉降变形

如图 5 所示, 若采用无排水线方案, 施作一层路堤固

结 2 天后沉降为 0.25m, 一层路堤固结 32 天后路堤沉降为 0.76m, 施作二层路堤并固结 1 天后沉降 0.82m, 二层路堤固结完成时沉降达到 1.1m, 总施工工期为 80 天。

如图 6 所示, 若采用有排水线方案, 施作一层路堤固结 1 天后沉降为 0.41m, 一层路堤固结 2 天后路堤沉降为 0.62m, 施作二层路堤并固结 1 天后沉降 0.87m, 二层路堤固结完成时沉降达到 1.1m, 总施工工期为 10 天。

由此可见, 采用有排水方案比无排水线方案的固结工期节省了 70 天, 能够更快实现路堤固结完成。

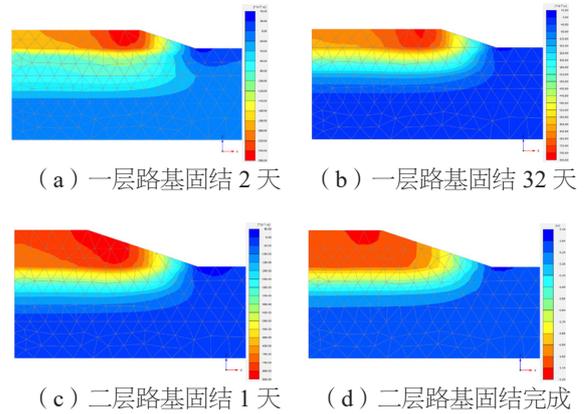


图 5 无排水线方案路基沉降变形云图

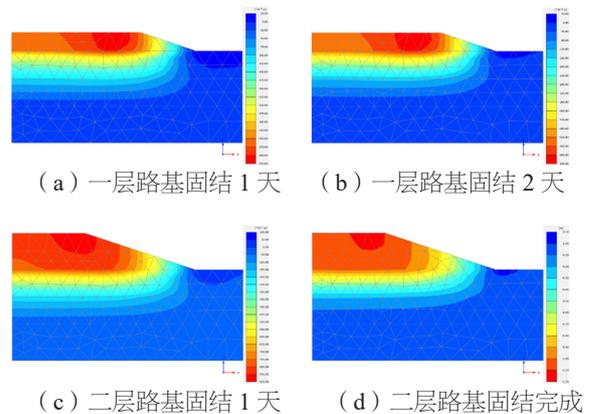


图 6 有排水线方案路基沉降变形云图

### 5.2 超孔隙水压发展及消散曲线

若采用无排水线方案, 路堤中心正下方泥炭层的超孔隙水压发展及消散曲线如图 7 所示, 可以看出由于没有针对性的排水措施, 整体固结时间达到 80 天。第一层和第二层路堤填筑后分别需要 32 天和 45 天的固结时间, 第一层路堤填筑固结完成后超孔隙水压达到 23.4kPa, 且第一层路堤填筑固结完成后第二层路堤刚填筑完成时, 超孔隙水压上升了 29kPa, 最大超孔隙水压出现在第二层路堤填筑刚刚完成时, 最大值为 31kPa。

若采用有排水线方案, 路堤中心正下方泥炭层的超孔隙水压发展及消散曲线如图 8 所示, 可以看出由于设置了单独的排水措施, 整体固结时间非常短仅为 10 天。第一层路

基填筑固结完成后超孔隙水压达到 21.5kPa，第一层路基填筑固结完成后第二层路基刚填筑完成时，超孔隙水压上升了 20kPa，由于超孔隙水压上升不多，因此实际工程只预留了 1 天固结时间，最大超孔隙水压出现在第二层路堤填筑刚刚完成时，最大值为 31kPa。

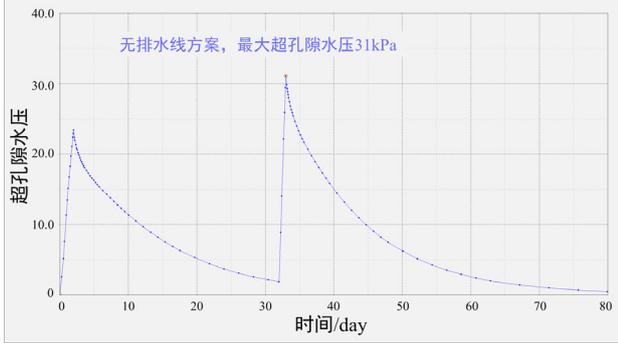


图 7 无排水线方案的地层超孔隙水压发展及消散曲线

由此可见，采用有排水线方案时最大超孔隙水压的上升幅度较小，排水固结的速度更快。

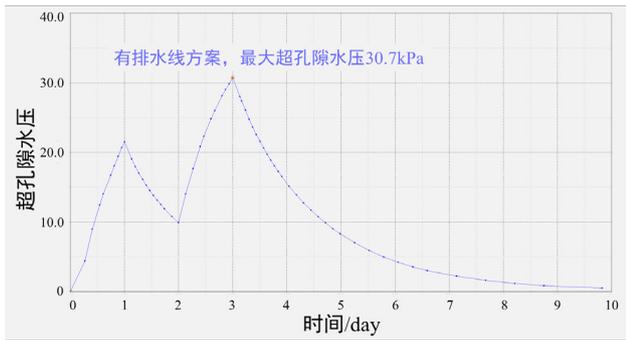


图 8 有排水线方案的地层超孔隙水压发展及消散曲线

### 5.3 安全系数计算分析

图 9 给出了无排水线和有排水线两种方案的安全系数计算结果，由图可知，无排水线方案的路堤安全系数最终为 1.450，有排水线方案的安全系数最终为 1.425，两者安全系数基本相同，无排水线方案比有排水线方案的安全系数略大。产生这一现象的原因，主要是由于采用有排水线方案时，整体施工过程非常快，用于路堤固结的时间过短导致的。以该工程为例，建议有排水线方案的固结时间可以稍微充足一

些，这样二者的安全系数会更加接近基本一致。综上所述，采用方案 2 既有排水线方案既可以加快施工进度，也可以保证路基稳定性，但会略微提高工程造价。

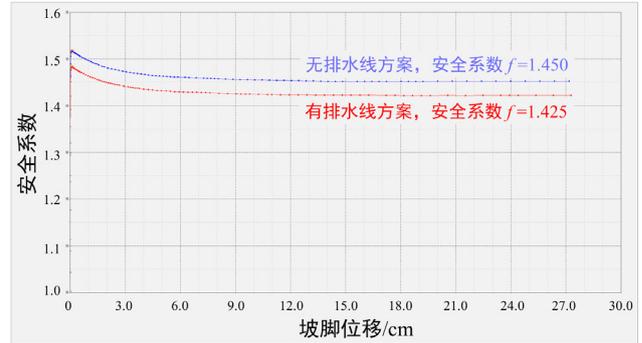


图 9 两种方案的路堤安全系数计算结果

## 6 结论

本例以某市软土地基上的路基填筑工程为研究对象，研究了软土地基上路堤修筑过程中的固结规律及稳定性，并考虑了有无排水方案的影响。论文从路堤位移、超孔隙水压、安全系数等方面出发，对比研究了路基固结规律和稳定性，主要得到以下结论：

- ①有排水线方案比无排水线方案的排水固结速度更快，固结效果更好，以本文为例，固结速度提高了 80% 以上。
- ②有排水线方案与无排水线方案相比安全系数基本相同，在实际工程中需要注意：在使用有排水方案时不要过早地进行后续填筑，若使用无排水方案则应准备更久更充足的固结时间。

### 参考文献

- [1] 史启超,曹卫平.高速公路软土地基处理方法比较分析[J].路基工程,2012(1):111-114.
- [2] 曾勇.解析深厚软土区低路堤软基处理设计[J].建筑工程技术与设计,2019(19):4474.
- [3] 樊文彪.高速公路软土路基的施工处理技术[J].城市建设理论研究(电子版),2016(10):4005-4005.
- [4] 尹紫红,杨建中,朱波,等.基于ANSYS的软土路基路堤分层填筑的沉降分析[J].路基工程,2017(1):49-52.
- [5] 肖文英.FLAC3D在软土路堤稳定性分析中的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2012(28):1-6