

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqfh.240078

不同地下水位、不同抗滑桩方案对软土路基边坡稳定的影响分析

朱艳¹, 战少晨², 李国生¹

(1. 济南城建集团有限公司, 山东 济南 250000; 2. 山东省交通规划设计院集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要: 为研究高地下水位条件下软土路基稳定性及加固措施, 以某高地下水位软土路基为研究对象, 基于FLAC3D有限元软件, 研究不同初始水位、不同水位差、水位下降等条件下路基边坡稳定性, 并分析了不同抗滑桩桩长、距坡脚距离、桩间距等对边坡的加固效果。研究表明: (1) 边坡安全系数随水位的增大呈V形, 随着左侧水位抬升, 右侧边坡安全系数在逐渐减小, 随着右侧水位的抬升, 右侧边坡安全系数先减小后增大; (2) 水位下降过程中, 边坡安全系数先减小, 随之经历一个Λ形波动, 最后边坡安全系数逐渐增大; (3) 随抗滑桩桩长的增大、距坡脚距离的减小、抗滑桩间距的减小, 边坡安全系数在逐渐增大。

关键词: 软土路基; 高地下水位; 抗滑桩桩长; 距坡脚距离; 桩间距; 边坡安全系数

中图分类号: TU475

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)02-0255-05

Study on Impact of Different Groundwater Levels and Different Anti-slide Schemes on Stability of Slope in Soft Soil Subgrade

ZHU Yan¹, ZHAN Shaochen², LI Guosheng¹

(1. Jinan Urban Construction Group, Jinan 250000, China; 2. Shandong Provincial Communications Planning and Design Institute Group Co., Ltd, Jinan 250000, China)

Abstract: In order to study the stability and reinforcement measures of soft soil subgrade under the condition of high groundwater level, taking a high groundwater level soft soil subgrade as the research object, based on FLAC 3D finite element software, the stability of subgrade slope under different initial water level, different water level difference and water level drop is studied, and the reinforcement effect of different anti-slide pile length, distance from slope foot and pile spacing on the slope is analyzed. The results show that: (1) The safety factor of slope is V shape with the increase of water level, with the rise of the water level on the left side, the safety factor of the slope on the right side is gradually decreasing, and with the rise of the water level on the right side, the safety factor of the slope on the right decreases first and then increases. (2) In the process of water level falling, the safety factor of the slope decreases first, then experiences a Λ-shaped fluctuation, and finally the safety factor of the slope is gradually increasing. (3) With the increase of the anti-slide pile length, the decrease of the distance from the slope foot and the decrease of the anti-slide pile spacing, the slope safety factor is gradually increasing.

Keywords: soft soil subgrade; high groundwater level; length of anti-slide pile; distance from foot of slope; pile spacing; safety factor of slope

0 引言

软土具有压缩性高、固结时间长、透水性差等特点, 易导致沉降变形等病害的发生, 严重危害行车安全、增大道路运维成本^[1-2]。因此, 急需开展软土路基变形特性及加固方案的研究。

近年来, 国内外研究学者从不同角度对软土路

基变形特性及加固方案进行了一系列研究, 余昌平等^[3]阐述了软土路基对高速公路稳定性的危害, 而后通过对比数值模型沉降值与实际工程沉降值, 得到路基预压沉降量, 从而为工程路基预抛高值提高参数依据; 杜毅^[4]基于碎石桩-软土路基计算模型, 分析碎石桩埋深、碎石桩间距等对路基沉降变形、位移、应力的影响; 薛新华等^[5]基于连续损伤力学理论, 得到了损伤孔隙介质完备有效的渗流连续性方程, 并依据编制的岩土介质流-固耦合的损伤变量有限元程序研究了路基的沉降值、孔压值和损伤变量;

收稿日期: 2024-01-18

作者简介: 朱艳(1993—), 女, 硕士, 工程师, 从事道路线形、路基路面、交通影响评价工作。

经缙等^[6]研究了粉喷桩对高含水量软基中加固效果,并分析了桩间距、软土层厚度对沉降量的影响。综上所述,软土路基沉降变形严重,需对其进行加固处治,但针对软土地区地下水位变化频繁,高地下水位条件下软土路基变形特性及加固方案研究较少。

鉴于此,在前人研究基础上,以某高地下水位软土路基为研究对象,基于FLAC3D有限元软件,研究不同初始水位、不同水位差等条件下路基边坡稳定性,并分析了不同抗滑桩桩长、距坡脚距离、桩间距等对边坡的加固效果。

1 工程概况

以某软土路基为例,结合勘察报告研究区域地下水位较高,埋深约2 m,季节性变化大,近3~5 a地下水位变化幅度在1~2 m左右,土质路基干湿类型为潮湿、过湿,在毛细作用下,水位进一步升高,增大路基含水率,由于地下水反复升降,导致路基强度下降,边坡稳定性较差。因此,需研究该路基变形特性及加固措施。

2 数值模型的建立

以某软土路基为研究对象,基于FLAC3D有限元软件,建立软土路基数值模型,如图1所示。

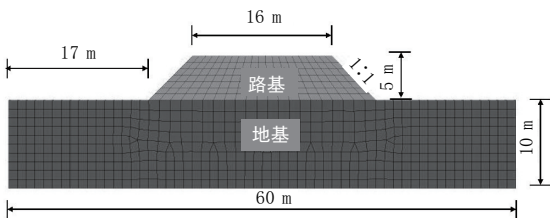


图1 软土路基模型

由图1可知,路基高为5 m,坡度为1:1,路面顶面长为16 m,坡脚至地基上顶面端点17 m,地基高为10 m,下底面长60 m。路基土采用弹塑性摩尔-库伦模型。根据该路基水位季节性特点,本文设置路基土体最多经历3次干湿循环,每次干湿循环后抗剪强度参数采用表1数据。

表1 土体抗剪强度指标

土体	抗剪强度参数	干湿循环1次	干湿循环2次	干湿循环3次
黏土	黏聚力	25	18	15
	内摩擦角	9	8	7.2

3 结果分析

3.1 不同初始水位下路基边坡稳定性分析

为研究地下水位对边坡稳定性的影响,以地基

下底面为0 m水位,设置12种水位梯度:0、3、5、7、8、9、10、11、12、13、14、15 m。不同水位条件下,路基边坡安全系数变化如图2所示。

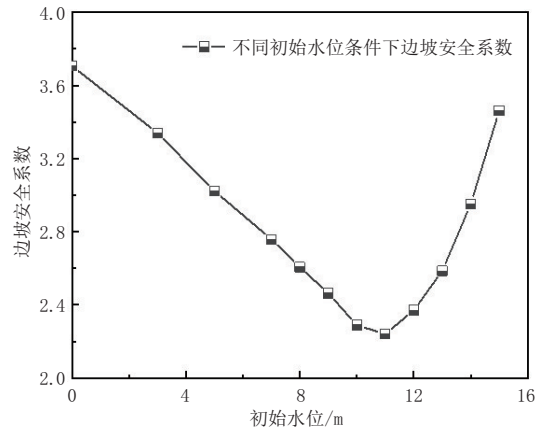


图2 不同水位条件下边坡安全系数变化图

由图2可知,随着初始水位的增大,边坡安全系数先减小后增大,呈V形。初始水位从0 m增大到11 m(地基上1 m)时,边坡安全系数从3.71减小到2.24,减小了39.62%;初始水位从11 m增大到15 m(路基顶面)时,边坡安全系数从2.24增大到3.46,增大了54.45%。说明初始水位对黏土路基边坡稳定性影响较大。

该区域年降水量583.3 mm,降水多集中在7~9月份,场区各含水层厚度变化较大,空间展布复杂,隔水层空间展布呈团状,未对各含水层形成有效隔离,各含水层之间水力联系密切,地下水类型为潜水,故需考虑降雨对黏土路基边坡稳定性的影响。降雨会导致浸水路路面两侧水位有所差异。高水位路基内的水会向低水位流动,导致低水位路基不稳。为研究不同水位差对边坡稳定性的影响,设置初始水位为8 m,分别抬升左、右侧水位,研究水位抬升过程中右侧边坡安全系数的变化规律。如图3所示。

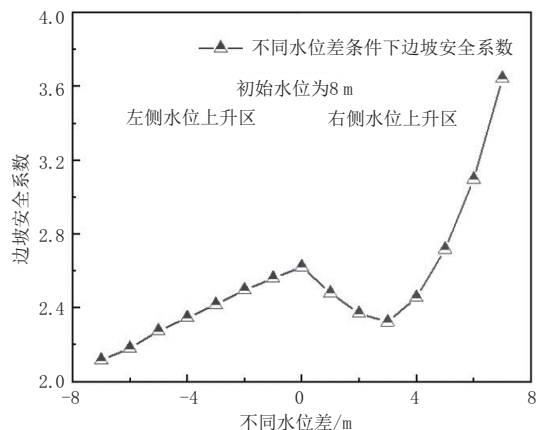


图3 不同水位差条件下右侧边坡安全系数变化图

由图3可知,随着左侧水位抬升,右侧边坡安全系数在逐渐减小。左侧水位从8 m增大到15 m,右侧路基与左侧路基水位差为-7 m,右侧边坡安全系数从2.62减小到2.12,减小了19.08%。随着右侧水位的抬升,右侧边坡安全系数先减小后增大,右侧水位从8 m增大到11 m,右侧路基与左侧路基水位差为3 m,右侧边坡安全系数从2.62减小到2.32,减小了11.45%;右侧水位从11 m增大到15 m,右侧路基与左侧路基水位差为7 m,右侧边坡安全系数从2.32增大到3.64,增大了56.9%,较初始状态增大了38.93%。

3.2 水位下降对路基边坡稳定性的影响

该路基呈现季节性浸水特征,路基水位短时间内会明显下降。为分析水位下降过程中,路基边坡的稳定性变化规律,设置初始水位为15 m(路基全部浸水)。

当水位下降至8 m时,设置3种下降所需时间梯度为2 d(编号为1-1)、4 d(编号为1-2)、6 d(编号为1-3),边坡安全系数变化规律如图4所示。

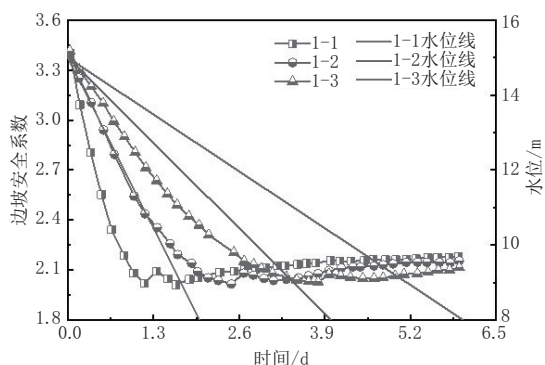


图4 水位下降至8 m所需时间不同条件下边坡安全系数变化图

由图4可知,水位下降过程中,边坡安全系数先减小,随之经历一个Λ形波动,最后边坡安全系数在逐渐增大。以1-1曲线为例:从0 d到1.2 d,水位降至10.8 m,边坡安全系数从3.4减小到2.02,减小了40.59%;从1.2 d到1.6 d,水位10.8 m降至9.4 m过程中(即水位从路堤降至地基过程中),边坡安全系数为Λ形,从2.02先增大到2.09后减小到2.01;从1.6 d到2 d,水位从9.4 m降至8 m,边坡安全系数从2.01增大到2.06,增大了2.49%;水位保持在8 m时,随着时间增大到6 d,边坡安全系数增大到2.18,较水位下降至8 m时增大了5.83%;说明水位在路基内下降过程中,边坡安全系数在逐渐减小;在地基内下降过程中,边坡安全系数在逐渐增大;地基中水位保持不变,边坡安全系数随着时间的增大在缓慢增大。

当水位下降6 d时,设置3种下降水位梯度:水

位降至8 m(编号为2-1)、水位降至10 m(编号为2-2)、水位降至12 m(编号为2-3)。边坡安全系数变化规律如图5所示。

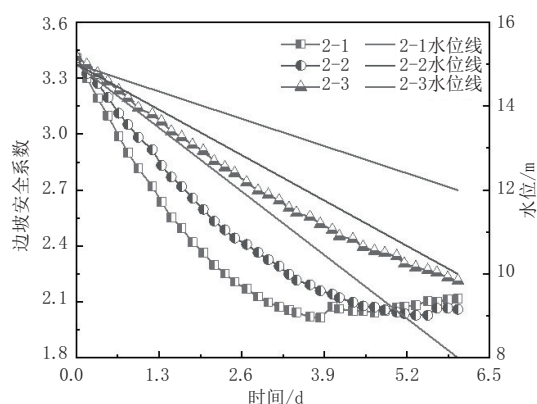


图5 水位下降6 d下降不同高度条件下边坡安全系数变化图

由图5可知,水位下降过程中,边坡安全系数先减小,随之经历一个Λ形波动,最后边坡安全系数在逐渐增大。以2-1曲线为例:从0 d到3.8 d,水位降至10.57 m,边坡安全系数从3.4减小到2.02,减小了40.59%;从3.8 d到4.7 d,水位10.57 m降至9.52 m过程中(即水位从路堤降至地基过程中),边坡安全系数为Λ形,从2.02先增大到2.07后减小到2.04;从4.7 d到6 d,水位从9.52 m降至8 m;说明水位在路基内下降过程中,边坡安全系数在逐渐减小;在地基内下降过程中,边坡安全系数在逐渐增大;地基中水位保持不变,边坡安全系数随着时间的增大在缓慢增大。

综上所述,水位在下降过程中,按照水位所处位置可分为路基阶段、过渡段及地基阶段。发现路基阶段边坡安全系数随水位的下降在逐渐减小;过渡段边坡安全系数曲线呈Λ形波动;地基段边坡安全系数随水位的下降在逐渐增大。6种工况下的路基阶段、过渡阶段及地基阶段分别如下。

(1) 1-1 工况

0~1.2 d(路基阶段)、1.2~1.6 d(过渡阶段)、1.6~6 d(地基阶段);

(2) 1-2 工况

0~2.5 d(路基阶段)、2.5~3.1 d(过渡阶段)、3.1~6 d(地基阶段);

(3) 1-3 工况

0~3.8 d(路基阶段)、3.8~4.6 d(过渡阶段)、4.6~6 d(地基阶段);

(4) 2-1 工况

0~3.8 d(路基阶段)、3.8~4.6 d(过渡阶段)、4.6~6 d

(地基阶段);

(5)2-2 工况

0~5.3 d(路基阶段)、5.3~6 d(过渡阶段);

(6)2-3 工况

0~6 d(路基阶段)。

考虑水位下降过程中,路基两侧水位高度可能存在差异,设置左侧水位为 15 m,右侧水位从 15 m 降至 8 m,分析水位下降过程中及水位下降次数对路基边坡安全系数的影响,如图 6 所示。

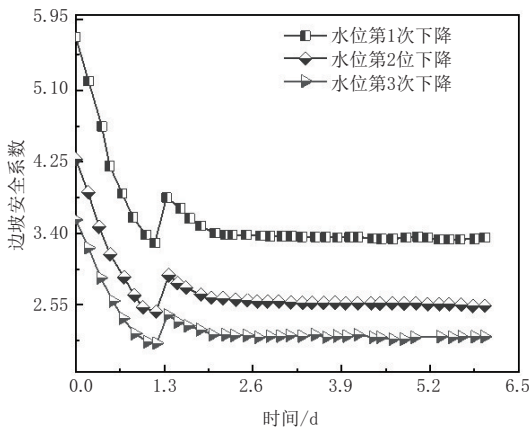


图6 不同水位下降次数下边坡安全系数变化图

由图 6 可知,随着下降次数的增大,边坡安全系数在逐渐减小。以 0 d 为例,水位第 1 次下降边坡安全系数为 5.74,水位第 2 次下降边坡安全系数为 4.28,水位第 3 次下降边坡安全系数为 3.56。相邻两次边坡安全系数变化曲线距离随水位下降次数的增加在逐渐减小,0 d 时,水位第 2 次下降较第 1 次下降减小了 25.44%,水位第 3 次下降较第 2 次下降减小了 16.82%。

3.3 抗滑桩加固效果研究

采用抗滑桩对路基边坡进行加固,抗滑桩间距为 2 m,抗滑桩桩径为 0.8 m,重度为 25 kN/m³,弹性模量为 30 GPa,泊松比为 0.15。已有研究表明,抗滑桩的布置位置、桩长及桩间距等均对其加固效果存在影响,故研究不同抗滑桩桩长、抗滑桩布置位置、抗滑桩桩间距条件下软土路基边坡稳定性的变化规律。

为研究抗滑桩桩长及位置对边坡稳定性的影响,设置 6 种桩长梯度:5、6、7、8、9、10 m,6 种位置梯度:距坡脚 0 m、距坡脚 1 m、距坡脚 2 m、距坡脚 3 m、距坡脚 4 m、距坡脚 5 m,共 36 种工况。不同工况下边坡安全系数如图 7 所示。

由图 7 可知,抗滑桩长为 5、6 m 时,边坡安全系数随距坡脚距离的增大在逐渐减小。抗滑桩长为 7、

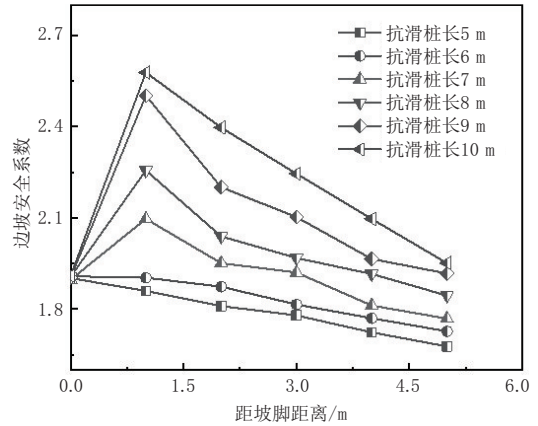


图7 不同抗滑桩桩长及位置条件下边坡安全系数变化图

8、9、10 m 时,距坡脚 0 m 增大到距坡脚 1 m,边坡安全系数先增大;距坡脚 1 m 增大到距坡脚 5 m,边坡安全系数在逐渐减小。随抗滑桩桩长的增大,边坡安全系数在逐渐增大。

图 7 可知,在距坡脚 1 m 处布置长度为 10 m 的抗滑桩边坡安全系数最大,为研究抗滑桩桩间距对软土路基加固效果的影响,不同桩间距条件下边坡安全系数如图 8 所示。

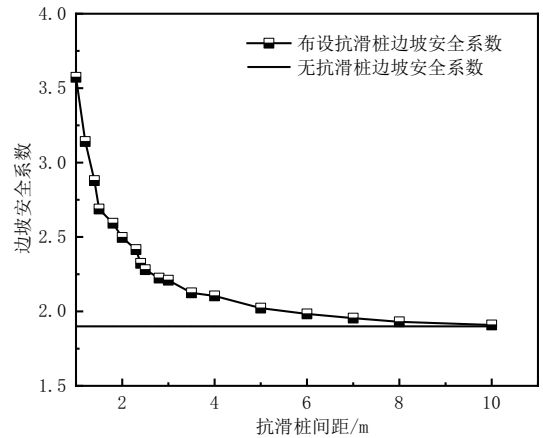


图8 不同抗滑桩桩间距条件下边坡安全系数变化图

由图 8 可知,布置抗滑桩的边坡安全系数大于不布置时边坡安全系数,且随着抗滑桩间距的增大,边坡安全系数在逐渐减小,布置抗滑桩边坡安全系数变化曲线斜率逐渐趋于 0,当抗滑桩间距增大到 8 m 时,安全系数较无抗滑桩状态基本一致,说明当抗滑桩间距过大时无抗滑作用。

4 结 语

以某高地下水位软土路基为研究对象,基于 FLAC3D 有限元软件,研究不同初始水位、不同水位差、水位下降等条件下路基边坡稳定性,并分析了不同抗滑桩桩长、距坡脚距离、桩间距等对边坡的加固效果,主要结论如下。

(1)随着初始水位的增大,边坡安全系数先减小后增大,呈V形;随着左侧水位抬升,右侧边坡安全系数在逐渐减小;随着右侧水位的抬升,右侧边坡安全系数先减小后增大。

(2)水位下降过程中,边坡安全系数先减小,随之经历一个Λ形波动,最后边坡安全系数在逐渐增大;随着下降次数的增大,边坡安全系数在逐渐减小;相邻两次边坡安全系数变化曲线距离随水位下降次数的增加在逐渐减小。

(3)随抗滑桩桩长的增大、距坡脚距离的减小、抗滑桩间距的减小,边坡安全系数在逐渐增大。

(4)抗滑桩长为7、8、9、10 m时,距坡脚0 m增大到距坡脚1 m,边坡安全系数呈现增大,后距坡脚

1 m增大到距坡脚5 m,边坡安全系数在逐渐减小。

参考文献:

- [1] 侯志峰,靳灿章.软土地区道路加宽工程路基差异沉降特性研究[J].城市道桥与防洪,2020(5):230-232,235.
- [2] 王恩峰,邓宝智.某高速公路工程软路基处理研究[J].城市道桥与防洪,2014(7):40-42.
- [3] 余昌平,甄光磊,王文杰.软土路基沉降预测对项目成本影响的技术研究[J].公路,2020,65(10):35-39.
- [4] 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.
- [5] 薛新华,张我华.考虑损伤的软土路基变形分析[J].土木建筑与环境工程,2009,31(1):77-82.
- [6] 经绯,刘松玉,缪林昌.粉喷桩处理软土路基的沉降变形特征[J].路基工程,2005(6):13-16.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

