

隔断层厚度对盐渍土路基边坡稳定性的影响研究

张 昊

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘 要:我国现阶段的公路建设里程不断增长,相较于常规平原地区,高寒区公路建设要克服盐渍土路基带来的各类不良影响。高寒地区常见的盐渍土体中富含盐分,容易出现盐分迁移和结晶的现象,从而导致路基边坡稳定状态发生变化。现有工程施工方案中常设置隔断层,但目前关于隔断层厚度对路基边坡稳定性产生影响方面的研究仍较为薄弱。通过设计多种厚度的级配砾石隔断层,利用有限元模拟软件,可模拟并对比各厚度级配砾石隔断层对路基边坡稳定性的影响结果。研究成果显示,相较于无级配砾石隔断层的盐渍土路基,设置隔断层的路基边坡稳定性有所降低,并随着隔断层厚度的增加下降;当级配砾石隔断层的厚度设置超过30cm后,模拟路基边坡的危险滑动面位置触及坡脚隔断层处,随后其厚度继续变大并不会对危险滑动面产生明显影响。

关键词:砾石;路基;盐渍土;隔断层;边坡稳定性

中图分类号: U417

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)06-0282-04

0 引 言

在高寒地区建设公路路基工程时,常需面临盐渍土体密布的问题。盐渍土体有着含盐量高的典型特征。碱化土和盐化土等,也属于盐渍土体。在盐渍土体分布广泛的地区进行路基工程施工时,需要重点做好两种现象的预防措施。一是盐渍土体有可能会发生次生盐渍现象,二是毛细水对路基施工产生的不良影响。为了有效解决上述问题,可以采取抬高路基的方法,但这种方法有诸多包括施工难度和造价等方面的缺陷。另一种方法是设置隔断层。级配砾石层是常见的隔断层材料,可以有效隔断毛细水,并能在一定程度上提升盐渍土路基边坡的整体稳定性,得到了广泛的应用^[1-2]。

我国的诸多专家、学者针对级配砾石隔断层设置、对应的盐渍土体盐分迁移和毛细水上升方向的深入研究相对薄弱。但新惠等^[3]搭建了室内模拟试验,针对盐渍土体级配砾石隔断层厚度设置问题展开了研究,得出了多种自然模拟条件下毛细水上升的变化规律。赵中党等^[4]针对级配砾石盐渍土体隔断层问题展开研究,得出了公式计算和卡规法两类合理隔断层厚度计算方法。薛明等^[5]依托实体施工工程项目,针对盐分在盐渍土体的迁移行为,总结了多种隔断层施工方案,可有效提高施工效率和质量。张

立华等^[6]研究了避免高寒地区路基路面受盐渍土体不良影响的方法,综合利用了隔断层设置和路基抬升两种方案,可以实现隔断层毛细水上升,并能一定程度上限制盐分迁移。针对利用隔断层设置和路基抬升方案来规避盐渍土体盐分迁移和毛细水上升问题的研究已有较多成果。

总而言之,针对将级配砾石隔断层应用于解决高寒区盐渍土体对路基边坡稳定性影响方面,已有诸多理论验证和工程实践。然而,在砾石隔断层厚度的确定和研究验证方面,目前主要停留在专业学者提出的一些实验室计算方案上,在实际工程推广过程中无法实现完全地验证。这是工程特点所限。另外,除了级配砾石外,沥青基材质、石灰土、水泥土、砂土等,都可作为隔断层施工原材料。这对隔断层厚度的计算和验证又提出了更高的要求,需要考虑到更多方面的问题,包括地下水位高度、盐渍土体的最大蒸发深度、盐渍土体指标、盐渍土体种类、间隔层材料的施工配比和含盐量等。由此可以发现,隔断层厚度的计算有着很大的难度,过厚的隔断层可引起原材料浪费和工程造价成本提高等,而过薄的隔断层厚度又无法完全阻止毛细水上升、阻隔盐分迁移。

因此,本文将隔断层厚度计算落实到有限元软件模拟验证方面。模拟试验利用有限元建模软件,搭建了多种厚度隔断层的数据模型,通过对比优选出最佳或合理厚度的隔断层。有限元模型中的多项参数取自青海省某盐渍土体分布区公路建设工程实地检测数

收稿日期: 2021-03-09

作者简介: 张昊(1987—),男,本科,工程师,从事路桥设计工作。

据。数据模拟模型模拟了级配砾石隔断层,搭建完成后进行数值计算,对比各组不同隔断层厚度对应的盐渍土路基边坡稳定性,最终得出盐渍土边坡稳定性变化规律。

1 工程数据

为准确掌握该公路建设工程所处盐渍土体分布区的气象资料,调查并分析了2000年以来至2019年青海省该地区的气象数据。该工程所在地处于柴达木盆地,平均海拔为2 810 m,属于夏季短冬季长气候,夏季凉爽、冬季严寒,降水少,干旱严重,风力较大,是典型的高原气候。该盐渍土体分布区公路建设工程可为本文研究模拟内容提供合适的数据依托。该公路全长79 482 m,双向4车道,路基整体宽度为28 m,设计车速为100 km/h,公路面层为AC沥青混凝土结构形式。

1.1 降雨与蒸发情况

该公路建设工程所处盐渍土体分布区2000—2019年的每月平均降雨与蒸发数据见图1。

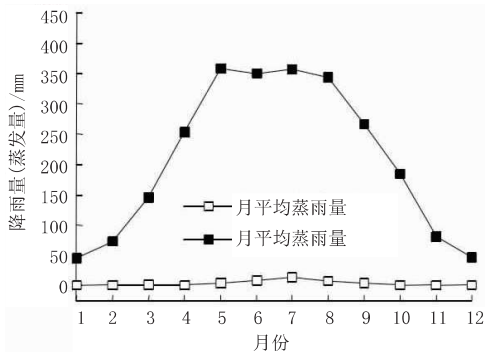


图1 月平均降雨及蒸发数据

该地区的月平均蒸发量远大于月平均降雨量,尤其是在5—8月,这一现象达到顶峰。年平均蒸发量达到2 641 mm,而年降雨量仅为43.6 mm。其中,5—9月的降雨量占全部年平均降雨量的88.4%。

为判断该地区的干旱程度,可通过计算得到该地区的干燥指数 k 。

干燥指数 $k = \text{年蒸发量} Z / \text{年降水量} J$

计算可得到干燥指数为60.57,即年降水量仅为年蒸发量的1/60,属于极为干旱地区。

1.2 气温情况

该公路建设工程所处盐渍土体分布区的气温统计情况见图2,平均最高气温和最低气温最高值均处于7月,分别为32℃和13℃。该月平均气温为22.5℃。平均气温能达到15℃以上的月份为6—8月。该地区在12月是全年最低气温,为-9.3℃,月平

均温度处于0℃以下的月份为11—3月。全年的最高温与最低温之间的最大差值为33.1℃,有着典型的季节更迭特征。

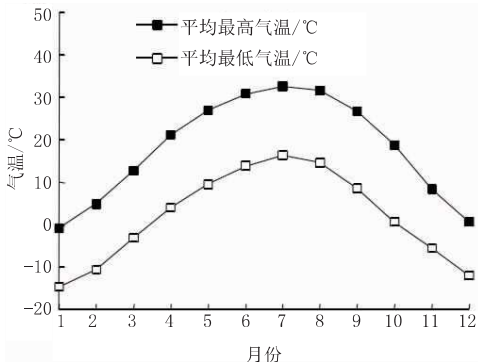


图2 月平均气温数据

1.3 地温情况

同样,对该公路建设工程所处盐渍土体分布区2000—2019年的每月平均地温进行统计,分析的深度为0~40 cm,结果见图3。将其与当地月平均气温变化情况对比,可以发现两者变化趋势基本一致,总体上月平均地温高于对应的月平均气温。随着深度的增加,地温整体走低。横向对比各深度地温变化幅度,可以发现深度越大,各月份间的地温变化幅度趋于缓和,并且与气温的相关性更小。

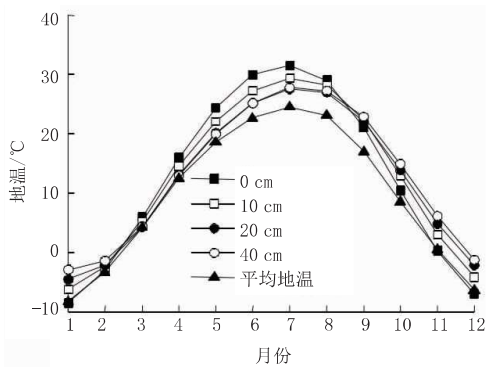


图3 月平均地温数据

2 试验与数据分析

2.1 土样理化试验

该公路建设工程试验段全长45 795 m,沿线共选取了25个采样检测点。在采样点取路基土土样,做室内土样检测试验。室内土样检测试验主要针对盐渍土样中的含盐类别及其对应的含盐量进行检测。试验后发现,该地区的盐渍土体含盐类型主要为 SO_4^{2-} 和 Cl^- 两种。其中,过盐渍土占比高达44.8%,强盐、中盐和非盐类土的占比见图4。

取试验土样中含盐量最高的过盐渍土为样本,按照规范试验方法,对其物理参数进行检测,检测结

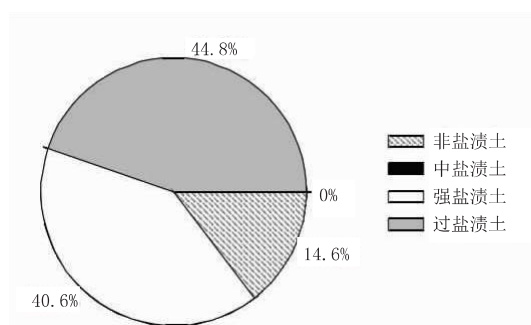


图4 盐渍土样含盐量

果见表1。对盐渍土样中的盐分含量进行化学参数检测,检测结果见表2。

表1 盐渍土样物理参数

指标类别	值	指标类别	值
相对密度	2.36	最佳含水率 /%	6.5
塑限 /%	26.4	最大干密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	2.01
液限 /%	17.5	饱和度 /%	75.3

表2 盐渍土样化学参数

含盐类别	含盐量 /%	含盐类别	含盐量 /%
碳酸根离子	0.04	硫酸根离子	0.51
碳酸氢根离子	0.14	钙离子	0.65
氯离子	18.02	镁离子	1.03

2.2 土样直剪试验

根据土工试验规程的规范要求,选择含水率为6.5%、压实度为95%的盐渍土体制样,用保鲜膜将制好的土样包裹好,防止其中水分含量变化。置于恒温箱中,后续进行直剪试验。按规范控制统一标准的试样尺寸和剪切速率,可以得到各含水率条件下土样对应的强度情况。

在含水率为6.5%、压实度为95%、温度为24℃条件下,土样的应力-应变对应情况见图5。

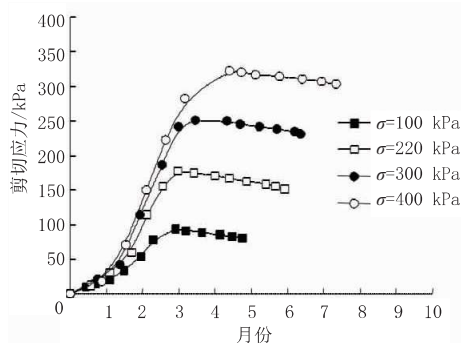


图5 盐渍土样应力-应变对应情况

选择盐渍土样最大剪切强度与对应的垂直应力数据绘制图6所示的关系图。利用线性拟合一次曲线得到M-C破坏标准,能够得出盐渍土体的内摩擦

角指标、黏聚力指标。

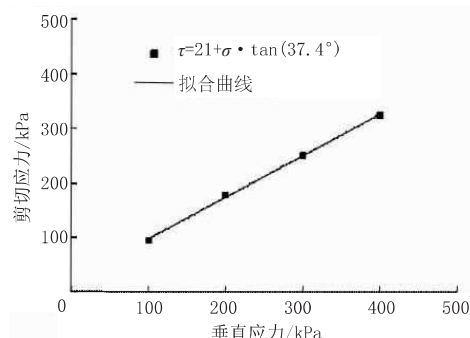


图6 线性拟合一次曲线图

3 有限元模拟分析

对照实际路基工程施工,无法准确估算出路基边坡滑动面分布位置及其具体范围。本文模拟过程中,在人工计算和软件分析时,均选取路基边坡坡脚作为滑动面起始位置。采用该方法进行模拟计算时,需要注意仅适用于单层填筑土体边坡的稳定性分析。若是多类别土体填筑或多层填筑,则不能得到滑动面分布位置及其具体范围。本文进行的有限元模拟分析,仅针对单层盐渍土体一次填筑并设有一定厚度级配砾石隔断层的路基边坡稳定性分析。

本文共模拟设有0 cm、20 cm、30 cm、40 cm、60 cm、80 cm的6种级配砾石隔断层的路基边坡。软件设置的级配砾石和填筑盐渍土体的特性数据见表3。

表3 模拟特性数据

指标	级配砾石	盐渍土体
内摩擦角 $/(^{\circ})$	40.12	38.03
黏聚力 /kPa	0	41.94
重度 $/(kN \cdot m^{-3})$	22.05	19.25
$\tan \varphi$	0.843	0.782

通过有限元模拟的6种隔断层厚度对盐渍土路基边坡稳定性的影响结果见图7。

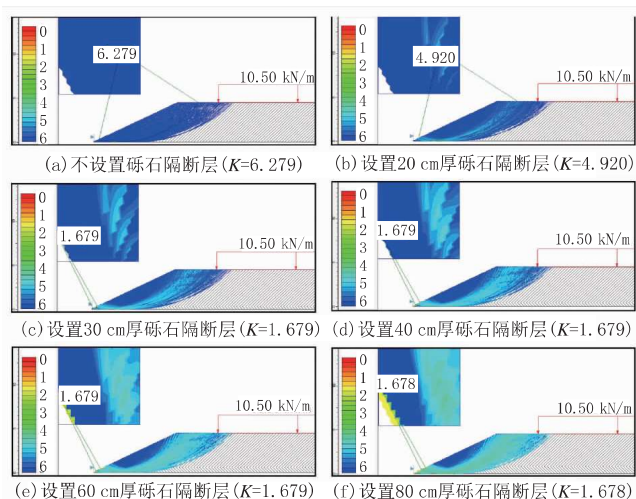


图7 有限元模拟结果

分析图 7 可以明显看出,最初未设置级配砾石隔断层时,最小稳定系数 K 为 6.279;当在盐渍土体路基下部增设 20 cm 级配砾石隔断层后, K 下降到了 4.920;当隔断层厚度继续增加至 30 cm 后, K 下降至 1.679;随后 K 值便保持稳定。也就是说,当级配砾石隔断层的厚度设置未超过 30 cm 前,最小稳定系数 K 随着隔断层厚度的增加而降低;当级配砾石隔断层的厚度设置超过 30 cm 后, K 值不再变化。模拟路基边坡的危险滑动面位置触及坡脚隔断层处,不会再对危险滑动面产生明显影响。由此可以总结出:在实际盐渍土体路基边坡施工过程中,为保持路基整体稳定,若要在其底部增设级配砾石隔断层,需要关注坡脚处的稳定性,对其进行重点加固处理。

4 结 语

本文基于实体工程项目,在采样检测盐渍土体理化性质的基础上,通过直剪试验得出了土体基本特性数据,利用有限元软件模拟了 5 种厚度的级配砾石隔断层和 1 组无隔断层的盐渍土体路基边坡,对比了各厚度级配砾石隔断层对路基边坡稳定性的影响结果,得出如下主要结论:

- (1)该有限元模拟分析仅针对单层盐渍土体一次填筑并设有有一定厚度级配砾石隔断层的路基边坡稳定性分析。
- (2)当级配砾石隔断层厚度设置未超过 30 cm 时,最小稳定系数 K 随隔断层厚度的增加而降低。
- (3)当隔断层厚度设置超过 30 cm 后, K 值不再变化。
- (4)在实际盐渍土体路基边坡施工过程中,若要在其底部增设级配砾石隔断层,需要对坡脚处进行重点加固处理。

参考文献:

[1] 蔡宁.路基边坡稳定性的影响因素[J].公路工程,2011,36(6):138-140.

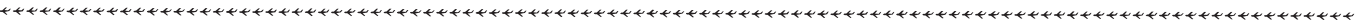
[2] 王迎,杨鹏,周燕.风积沙路基稳定性分析[J].公路工程,2015,40(1):18-22,28.

[3] 但新惠.级配砾石毛细水上升高度的研究与探讨[J].岩土工程界,2007(5):42-44.

[4] 赵中党.天然级配卵石土毛细水隔断层厚度的研究[J].铁道工程学报,1992(2):51-54.

[5] 薛明,朱玮玮,金众赞.盐渍土路基盐分迁移防治与养护[J].公路交通科技(应用技术版),2007(7):28-31.

[6] 张立华.盐渍土路基病害与防治[J].城市道桥与防洪,2006(6):33-34,196.



(上接第 264 页)

[13] Chui T F M, Liu X, Zhan W. Assessing cost-effectiveness of specific LID practice designs in response to large storm events[J]. Journal of Hydrology, 533:353-364.

[14] Yang Y, Chui T F M. Rapid Assessment of Hydrologic Performance of Low Impact Development Practices under Design Storms[J]. Jour-

nal of the American Water Resources Association.

[15] Ravazzani G, Gianoli P, Meucci S, etc. Assessing Downstream Impacts of Detention Basins in Urbanized River Basins Using a Distributed Hydrological Model[J]. Water Resources Management, 28(4): 1033-1044.