

考虑路堤渗流场变化的最佳包边土厚度数值研究

谢琳¹, 曾铃², 史振宁²

(1.长沙职业技术学院 建筑与艺术设计分院, 湖南 长沙 410004; 2.长沙理工大学, 湖南 长沙 410004)

摘要: 为确定考虑路堤渗流场变化的最佳包边土厚度, 通过 Geostudio-seep 软件数值模拟, 建立具有包边土和排水设施的路堤计算模型, 分析了路堤渗流场中暂态饱和区及含水率的变化。结果表明, 在设置排水系统的路堤软土层采用最佳包边土厚度, 有利于迅速排出雨水, 减小雨水入渗量, 使土体体积含水率随降雨持续无明显变化, 从而减小边坡受降雨入渗的影响, 降低边坡土体水毁程度。

关键词: 公路; 路堤; 降雨入渗; 包边土; 排水系统; 渗流场

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0079-03

软岩遇水后软化膨胀, 力学性质发生较大变化, 强度及刚度均大幅度降低, 给工程带来不利影响。包边土和排水设施在中国公路工程建设中得到推广应用, 并取得了不少经验。但对于降雨历时长、强度大的地区, 在软岩路堤上仅布设排水设施或包边土不能满足防排水的需要。因工程差异性, 采取排水设施或包边土二者之一的经验成果不可照搬。该文以红黏土层—炭质泥岩层交错布置填筑路堤为例, 将包边土与排水措施二者相结合应用于路堤中, 利用 Geostudio-seep 软件进行数值模拟, 分析降雨对边坡渗流场的影响机理及暂态饱和区及含水率在设置包边土和排水系统情况下的变化规律, 进而确定考虑排水设施的最佳包边土厚度, 以及时、有效地排出雨水, 减小边坡受降雨入渗的损害程度。

1 降雨对边坡渗流特性的影响机理

降雨入渗实质上是一个关于雨水在土壤饱气带中的运动过程, 它受时间和空间的影响而变化。降雨入渗大致可分为两个过程, 即无压入渗(自由入渗)和有压入渗(积水)。一般将降雨强度和入渗能力作比较来表征降雨入渗过程。在无压入渗中, 降雨强度小于土壤入渗能力, 雨水被土壤充分吸收。而在有压入渗中, 降雨强度超过入渗能力, 降雨强度起主导作用, 雨水不仅渗入土体内部, 还将引起土体表面出现坡面径流或积水, 并使暂态饱和区逐渐扩大, 导致边坡坡面受到冲刷。

2 计算模型和参数

图 1 为路堤计算模型。第 1、3、5、7 层采用红黏

土填筑, 第 2、4、6 层采用炭质泥岩填筑。在各层土体的中间位置设置一个排水孔, 并于炭质泥岩层即 2、4、6 层外侧设置一定厚度的包边土(红黏性土)。

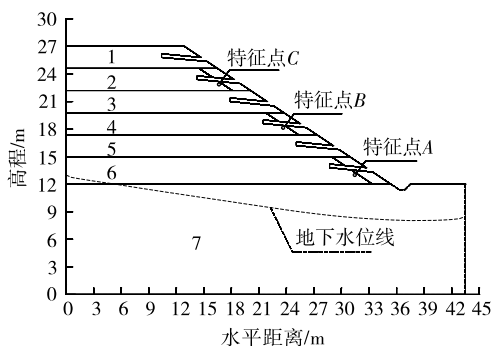


图 1 路堤计算模型

坡顶为 12.9 m, 坡高为 15 m, 坡底为 22.5 m, 坡比为 1 : 1.5。降雨强度根据中国南方历年降雨趋势取为 3.67×10^{-6} m/s, 降雨时长为 3 d, 降雨历时取 3 d, 总持续时间取为 6 d。初始地下水位线流入值为 13.0 m, 流出值为 8.5 m。边界条件为在排水孔及边沟内设置总水头为零。

3 布置排水设施时的包边土厚度研究

3.1 排水设施布置方案

为减小雨水入渗对路堤的影响, 设置完善的排水系统必不可少。合理的排水设施布设可有效引排、疏干雨水, 提高边坡稳定性。排水孔以其节约材料、缩短工期和施工方便的特点而成为常用排水措施之一。由排水孔流出的雨水需排至路基以外的低洼地带或自然溪沟中, 设置边沟显得尤为重要。在路基横断面土中, 转折位置(变坡点)是较易出现冲

刷失稳的部位,该处成为排水设计中的关键部位之一。边沟设置于填方路基边界处,可将排水孔水流引入沟底,并汇集和排除路基范围内的水,解决水流干扰问题。

排水孔的四要素为孔径、孔深、孔间距和孔的仰斜度。根据《公路路基设计规范》和相关经验,结合未设置包边土和排水设施时的边坡渗流情况,给定排水孔直径 d 为0.1 m、仰斜度为10%,高15 m的边坡设置6个排水孔,设于各层土体的中间位置,沿路基延伸方向间距约8 m。边沟设于边坡坡脚处,横断面采用梯形,底宽与深度取为0.6 m,边沟内侧边坡和路堤边坡坡度同为1:1.5,外侧坡度为1:1。边沟纵坡一般与路线纵坡一致,遇到平坡段,则将纵坡设为5%的坡度。

在排水孔四要素中,对边坡渗流影响较大的要素为排水孔长度,其他要素虽有影响,但不明显。通过对不同长度排水管方案进行数值模拟,观察边坡土体含水率的变化,结果表明:在一定范围内,排水孔插入边坡土体越深,其排水效果越好。

结合应用排水系统与包边土来降低雨水对边坡的渗流作用,考虑到较长的排水管会给施工带来一定难度,且浪费材料,将排水孔长度定为4 m。图2为设置排水系统的暂态饱和区分布。

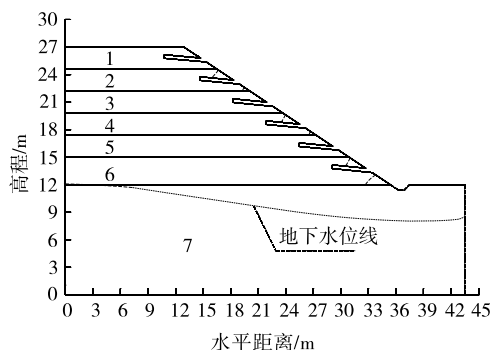


图2 设置排水系统的暂态饱和区分布

从图2可看出:地下水位线以内,其含水率均大于各层土体的饱和含水率。通过布设排水孔和边沟,在相同降雨时刻,饱和区范围有所缩小,饱和线离坡面较近,为2 m左右。

3.2 设置排水设施时最佳包边土厚度确定

在降雨频繁、持时长的地区,将合理的排水系统和合适包边土厚度相结合是一种经济且有效的措施。对于红黏土和炭质泥岩分层交错填筑的路堤,需根据材料性质的差异性选择合适的排水措施。在

每个土层各设一个排水孔,不但能及时排出该层所渗入的雨水,还能减少雨水因重力作用向下层土体的渗流。众所周知,坡脚处为雨水汇集区域,易发生边坡失稳,而边沟的设置可发挥引排作用。但排水系统的设置并不能最大限度地减小降雨对边坡的影响。因炭质泥岩的饱和含水率偏低,渗透能力较强,在较短时间内仍会达到饱和状态,对边坡稳定性造成威胁。若在炭质泥岩层加设合适的包边土厚度,则可推迟达到饱和状态的时间,缩小饱和区域范围。二者的结合能发挥各自的优点,并相互衔接、相互配合,把防水排水、减少渗流影响的作用发挥到最佳。

排水孔长度定为4 m时,饱和区域范围在2 m左右,在此基础上对不同包边土厚度下的路堤渗流特性进行分析。采用1和2 m厚包边土两种方案,在包边土较远处设置特征点A、B、C(见图1),观察其含水率变化,结果见图3、图4。

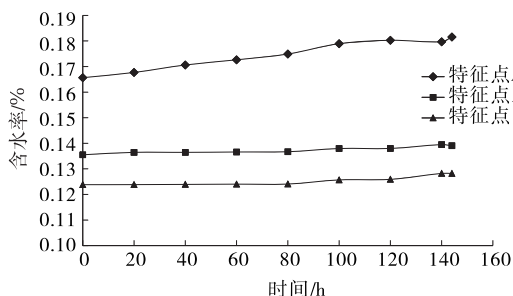


图3 设置1 m厚包边土和排水系统时特征点的含水率随时间的变化

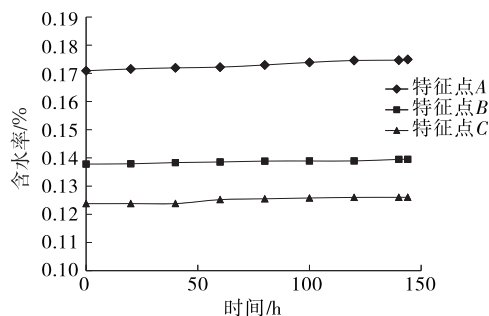


图4 设置2 m厚包边土和排水系统时特征点的含水率随时间的变化

对比图3与图4可看出:在不同包边土厚度下,特征点B、C的含水率无明显变化,而离坡脚最近的特征点A的含水率变化差异明显。说明只需增加最后一层包边土厚度即可有效减小降雨在边坡的渗流。为此,将第2、4层包边土厚度设为1 m,第6层设为2 m。采用该方案时各特征点的含水率变化情况见图5。

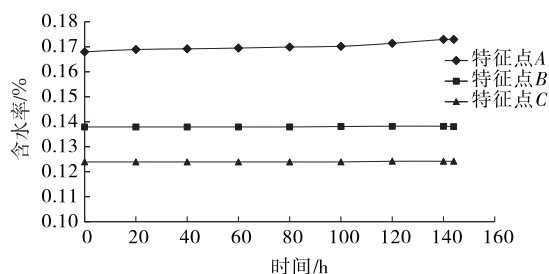


图5 排水系统和最佳包边土厚度下特征点的含水率随时间的变化

从图5可看出:在设置排水系统及最佳包边土厚度下,各特征点的含水率随时间的变化均接近于直线,在降雨全过程中,含水率一直小于饱和含水率,基质吸力从未消失,降雨只对坡面一定范围内有较大影响,且该影响范围在包边土以内,包边土外的雨水渗流影响甚小。

4 结论

(1) 各土层设置排水孔、坡脚处设置边沟,有利于引排、疏干雨水,从而缩小暂态饱和区范围。

(2) 设置排水系统时,软土层(第2、4、6层)的最佳包边土厚度分别为1、1.2 m。通过包边土与排水设施二者有效结合,相互衔接,相互配合,可缩小边坡受雨水渗流影响的范围,降低雨水入渗量,使其

含水率、孔隙水压力随降雨持续而无明显变化,达到防水、排水效果。

参考文献:

- [1] 杨旭,周翠英,刘镇.华南典型巨厚层红层软岩边坡降雨失稳的模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(3).
- [2] 王骑虎,陶连金,罗玉玲.降雨诱发红层滑坡的破坏形态及处治措施[J].兰州大学学报:自然科学版,2015,51(6).
- [3] 谭伟,贾致荣,杨若冲.包边填砂路基边坡稳定性计算方法研究[J].公路交通科技,2009,26(3).
- [4] 张书华,张海龙,赵中华.降雨条件下体积含水率对堆积体边坡渗流特性的影响研究[J].工程地质学报,2015,23(5).
- [5] 付宏渊,曾铃,王桂尧,等.降雨入渗条件下软岩边坡稳定性分析[J].岩土力学,2012,33(8).
- [6] 赵荐,周斌.边坡虹吸排水技术的工程应用[J].华东公路,2015(2).
- [7] 田宇杰,缪宏兵.高填方路基边坡的工程处治分析[J].盐城工学院学报,2016,29(2).
- [8] 吴佳,丁敏,金鑫.水力模型用于排水系统改造工程规划设计的研究[J].中国给水排水,2016,32(11).

收稿日期:2017-01-21

(上接第78页)

工艺进行加固,过大夯击能易对地基表层土体结构产生较大破坏,破坏原有渗流结构,造成孔隙水淤积,出现橡皮土,削弱夯击能的传递,影响强夯效果。

(2) 夯击能随着水平距离的增加对地基土的影响逐步减弱,且减弱趋势随着水平距离的增加由浅到深逐步加剧。通过对强夯水平影响范围的分析可更加合理地布置夯锤间距,有利于提高夯击效率。

(3) 建议选用Ⅱ区1600 kN·m的强夯工艺,点夯击数控制在7~8次,夯点水平间距控制在4.5 m,第一、二遍单遍夯击间隔时间取36 h,第二遍和满夯间隔时间取54 h。

参考文献:

- [1] 刘汉龙,赵明华.地基处理研究进展[J].土木工程学报,2016,49(1).
- [2] 水伟厚.冲击应力与10000 kN·m高能级强夯系列试验研究[D].上海:同济大学,2004.

- [3] 徐至钧,张亦农.强夯和强夯置换法加固地基[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 谢能刚,包家汉.强夯加固机理的动力学分析[M].合肥:合肥工业大学出版社,2009.
- [5] 李晓静,李术才,姚凯,等.黄泛区路基强夯时超孔隙水压力变化规律试验研究[J].岩土力学,2011,32(9).
- [6] 周健,史旦达,贾敏才,等.低能量强夯法加固粉质黏土地基试验研究[J].岩土力学,2007,28(11).
- [7] 施有志.强夯作用下孔隙水压力响应试验[J].水道港口,2007,28(5).
- [8] 黄晓波,周立新,周虎鑫.路基强夯处理孔隙水压力监测及参数确定[J].公路交通科技,2005,22(12).
- [9] 张功新,莫海鸿,董志良.孔隙水压力测试和分析中存在的问题及对策[J].岩石力学与工程学报,2006,25(增刊2).
- [10] 白冰.强夯荷载作用下饱和土层孔隙水压力简化计算方法[J].岩石力学与工程学报,2003,25(9).

收稿日期:2017-02-05