

路基砂砾垫层对地下水毛细上升阻隔效果的数值分析

陈丙锋

中国铁建港航局集团有限公司

摘要:当地下水位较高时,地下水可在路基土的毛细势作用下侵入路基,从而对路基的强度、变形与稳定性造成不利影响。在这种情况下,工程上常常采取在路堤底部设置砂砾石垫层的方法加以防治。为了揭示这一技术措施的机理,在推导出非饱和土瞬态流解析解的基础上,以一地下水水位较高的低填浅挖路段在堤底换填1m砂垫层的路堤为例,通过数值模拟手段,获得了考虑蒸发作用时,不同地下水水位条件下路堤中含水率的空间分布。

关键词:低路堤;地下水;毛细势;砂垫层;数值模拟

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.23.055

引言

在道路工程中,当地下水位较高时,地下水可通过路基土的毛细势作用侵入路基^[1, 2],使部分路基土达到毛细饱和而变得湿软。Drumm等^[3]通过分析反映路基长期性能的数据,指出地下水水位和路基含水率之间的关系并不显著,其研究主要集中于考虑每一深度处含水率总的变化,缺乏沿深度方向含水率变化的差异分析;孙冬

梅^[4]、徐杨军等^[5]采用饱和与非饱和渗流模型,模拟了库水位波动情况下浸润线的变化;郑颖人等^[6]、冯文凯等^[7]、张友谊等^[8]、吴琼等^[9]给出了库水位升降情况下土体浸润线的解析解。以上研究主要是基于渗流分析商用软件开展的计算分析。

本文基于非饱和土理论,针对易受地下水水位上升影响的低路堤,推导考虑蒸发条件下不同地下水水位时路基土渗流场随时间的变化。在此基础上,通过数值模拟,获得不同时间路基含水率的空间分布,进而评估在低路堤堤底设置砂垫层对于地下水水位上升的阻隔效果,为公路路基的防排水设计提供科学依据。

一、工程概况

(一) 路堤概况

某高速公路示范点位于具有高地下水位的低填浅挖路段。为了提升该路基工作区填料的强度、加强路基变形控制,基于有效隔断地下水、排除地表水的理念,采用对路堤地基超挖1m后回填级配不良砂的工程措施对进该段低路堤进行处理。其路基断面图如图1所示,其中路堤高度约为2m,坡率为1:1.5,路基顶面宽度约为9m,路堤填筑所采用的红黏土的压实度为96%。

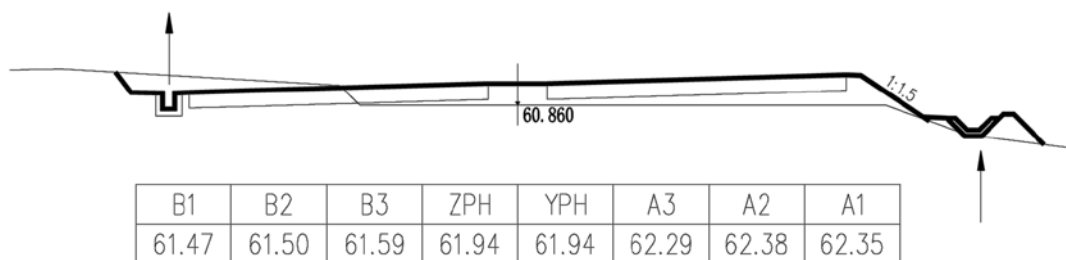


图1 某高速公路段路基断面图

(二) 路堤填料的基本性质

对路堤填筑采用的红黏土去除腐化植物和石块,经风干、研磨后过2mm筛后试验土样,其基本物理性质指标如表1所示,其中粘粒含量约为77%。

表1 路堤红黏土填料基本物性指标

塑限 (%)	液限 (%)	塑性指数 (%)	比重	自由膨胀率 (%)	最优含水率 (%)	最大干密度 (g/cm ³)	命名
39.4	84.1	45.2	2.84	25	30.0	1.502	高液限黏土

二、数值模拟分析

(一) 模型及边界条件

在数值模拟中,对路基断面进行了简化,将路堤底部的相对标高定为5.0m,所建立的计算模型见图2(a)

(以下简称“堤底不加处治计算模型”);针对前述的堤底下设置1m换填砂垫层措施,相应建立的计算模型见图2(b)(以下简称“堤底采用砂垫层阻隔计算模型”)

对于路堤红黏土填料的水力特性参数,采用试验所得的Van Genuchten模型参数,其中压实度为96%的红黏土试样的残余含水率约为39%,其饱和和渗透系数为 4.73×10^{-7} cm/s。对于堤底回填的砂土,采用砂土土-水特征曲线模型及模型参数,其饱和和渗透系数为 1.83×10^{-3} cm/s。模型的边界条件设定为:路堤顶面的孔隙水流量为0,路基边坡表面的流量按照实际蒸发情况设定为 -3.96×10^{-8} m/s;地下水位相对标高为2m,水位上升幅度为2m,即从相对标高2m上升到相对标高4m。

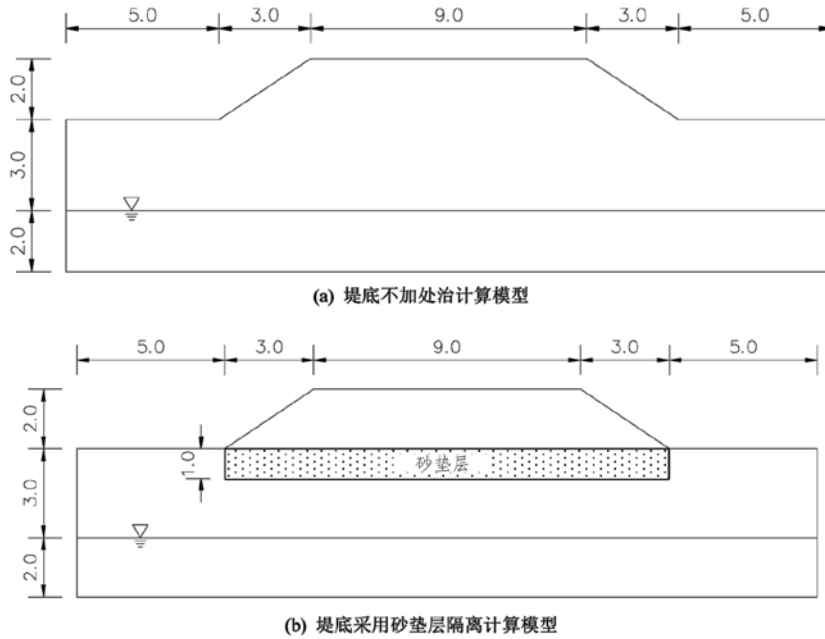


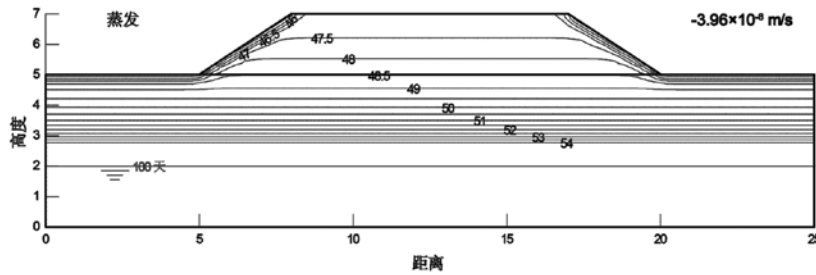
图2 计算模型 (单位: m)

(二) 结果与分析

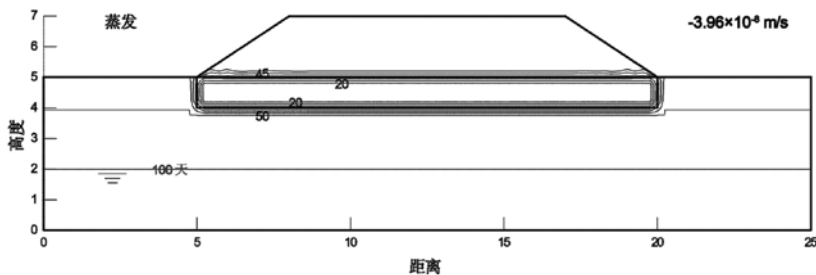
1. 砂垫层对地下水毛细上升的阻隔作用

依据前述非稳定流理论, 可以计算出红黏土路堤堤底不加处治和采用砂垫层阻隔两种情况下, 经历100

天后, 路堤中水分(体积含水率)等值线分布图。图3为堤底不加处治和堤底采用砂垫层阻隔时, 当地下水位于堤底以下3m(相对标高2m), 经历100天的含水率等值线分布图。



(a) 堤底不加处治时



(b) 堤底采用砂垫层阻隔下

图3 经历100天路堤体积含水率分布等值线

从图中可以看出:

(1) 堤底不加处治时, 随着蒸发时间的延长, 路堤坡面处的含水率会有明显的减小, 影响深度约为0.5 m, 但距离路堤边坡坡面较远的路堤本体受蒸发时间的影响较小。其原因主要是压实度达到96%的红黏土渗透

系数极小。

(2) 堤底采用砂垫层阻隔时, 经历100天的蒸发, 土体中湿度(吸力)状态与大气中的湿度达到平衡后, 由于砂垫层对毛细水的阻隔作用, 使路堤土的水分无法得到补给。

(3) 在砂垫层与路堤的交界面处, 含水率变化十分显著。这是因为砂土与路堤黏土两种材料的孔隙尺寸相差很大, 在交界面处为了达到吸力的平衡和连续, 含水率就必须有急剧的变化。

(4) 在相同的蒸发时间内, 堤底采用砂垫层阻隔的路堤含水率明显小于堤底不加处理的路堤含水率。由此可知, 堤底采用砂垫层阻隔措施将使路堤有更好的力学性能。

2. 地下水位上升后砂垫层的阻隔作用

当地下水位上升到相对标高4m, 即距离堤底1 m处时, 路堤经过100天后的含水率分布等值线如图8所示。

可以看出:

(1) 在水位上升100天后, 堤底不加处理或堤底设置砂垫层阻隔时, 路堤的含水率都有所上升, 前者处于47%~52%之间, 后者处于48%~50%之间。这一方面说明砂垫层对阻止地下毛细水上升起到了一定的作用; 另一方面采用砂垫层阻隔措施减小了路堤含水率分布的不均匀性, 变化幅度为2%, 而堤底不加处理时, 路堤含水率变化幅度为5%。

(2) 随着蒸发时间的延长, 路堤中含水率明显减小的部分均位于路基边坡表层, 蒸发作用的影响深度也仅为0.5m左右。

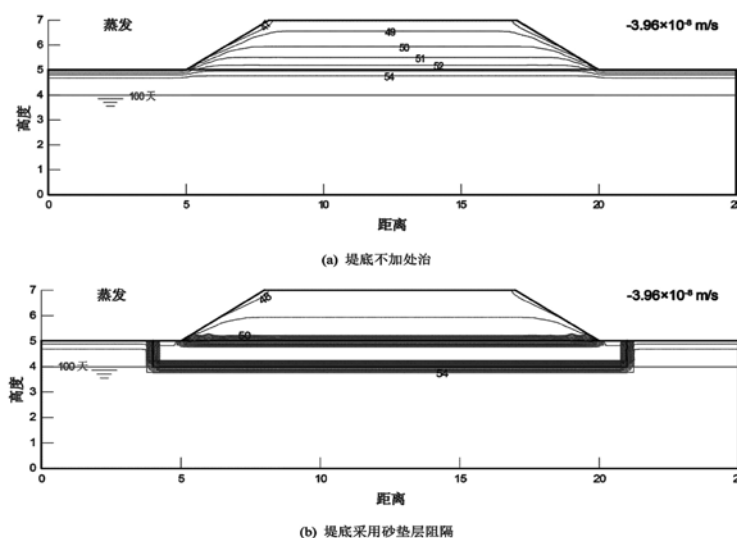


图4 地下水位上升100天后路堤体积含水率分布等值线

三、结论

根据本文针对一低路堤采用砂垫层防治地下水毛细上升影响的数值模拟结果的分析, 可以得出以下结论:

(1) 地下水位不变时, 黏土路堤底部采用厚度为1m的砂垫层阻隔, 能明显减小毛细水上升高度, 可有效阻止地下水通过毛细作用上升至路堤中, 避免路基因含水率升高而引发的工程病害;

(2) 由于黏土的渗透系数较小, 蒸发作用对黏土路堤含水率的影响深度约为0.5 m;

(3) 当路堤堤底不加处理时, 随着地下水位的上升, 黏土路堤的含水率将会受到明显的影响, 路堤边坡与路堤本体含水率相差很大。含水率分布不均匀导致路堤力学性能的不均匀, 进而可能诱发路堤产生不均匀沉降等病害;

(4) 在堤底下换填1m厚的砂垫层能够有效地减小地下水位上升对路堤含水率的影响。

参考文献

[1] 李锐, 赵文光, 陈善雄. 基于GEO-SLOPE的膨胀土路基毛细水上升分析[J]. 华中科技大学学报(城市科学版). 2006: 36-39.
 [2] 赵明华, 刘小平, 陈安. 非饱和土路基毛细作用分析[J]. 公路交通科技. 2008, 25(8): 26-30.
 [3] Drumm E M R. Daily and seasonal variations

in in-situ material properties[R]. National Cooperative Highway Research Program, 2003.

[4] 孙冬梅, 朱岳明, 张明进. 库水位下降时的岸坡非稳定渗流问题研究[J]. 岩土力学. 2008, 29(7): 1807-1812.

[5] 徐杨军, 张国民, 刘笑合, 等. 库水位下降的饱和-非饱和土坝渗流数值模拟[J]. 武汉理工大学学报. 2011(3): 93-97.

[6] 郑颖人, 时卫民, 孔位学. 库水位下降时渗透力及地下水浸润线的计算[J]. 岩石力学与工程学报. 2004, 23(18): 3203-3210.

[7] 冯文凯, 石豫川, 柴贺军, 等. 降雨及库水升降作用下地下水浸润线简化求解[J]. 成都理工大学学报(自然科学版). 2006, 33(1): 90-94.

[8] 张友谊, 胡卸文. 库水位等速上升作用下岸坡地下水浸润线的计算[J]. 水文地质工程地质. 2007, 34(5): 46-49.

[9] 吴琼, 林志红. 库水位下降时隔水底板倾斜的层状岸坡中浸润线的解析解[J]. 地质科技情报, 2007, 26(2): 91-94.

作者简介: 陈丙锋(1987年6月-), 男, 重庆交通大学, 交通工程, 硕士, 中级工程师, 从事工程建设技术、质量、合约及高速公路养护管理工作。