

降雨条件下膨胀土地基铁路路堤边坡稳定性分析

唐小军

(云南省铁路集团有限公司, 云南 昆明 650118)

摘要: 为分析膨胀土地基条件路堤边坡在降雨过程中的稳定性变化, 本文基于云南某在建专线铁路膨胀土路堤段, 利用有限元分析软件 GEO-studio 软件建模分析, 选择该路段典型路堤边坡在 70mm/h 降雨强度下, 连续降雨 6 小时条件下边坡稳定性变化情况, 研究发现: 随着降雨在路堤填土中的入渗路堤边坡稳定性迅速下降, 雨水在路堤填料中的渗入深度远大于在膨胀土的入渗深度, 膨胀土地基在一定程度上加剧了雨水在路堤填土中的入渗; 同时随着降雨的持续, 路堤边坡稳定性在逐渐降低, 路堤边坡潜在滑动面的深度也在不断增加, 而膨胀土地基加剧了这一趋势的发展程度。

关键词: 降雨; 膨胀土; 路堤; 稳定性

中图分类号: K928 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 09—0146—03

对于路堤边坡稳定性方面研究, 较多学者做了相关研究, 李安洪等^[1]提出一种适用于地震设计工况下的铁路路基边坡极限状态通用表达式; 叶咸等^[2]对复杂地质条件下高填方路段采用泡沫轻质土进行路基填筑的技术方案进行了研究; 冯忠居等^[3]对路堤高边坡失稳风险及采用何种处置方法进行了对比研究; 范凌燕^[4]利用 FLCA3D 有限差分软件对纤维石灰土路堤边坡稳定性进行了数值仿真; 倪振强等^[5]对浸水路堤边坡在不同工程条件下边坡稳定性进行了分析; 陈子敬^[6]分析了在寒区条件下, 盐渍土地区路基盐分迁移对路基边坡稳定性影响与砾石隔断层铺设厚度之间的关系; 夏英志^[7]基于 PLAXIS 有限元软件, 分析了路基填筑高度对半填半挖路基边坡稳定性的影响; 刘远程等^[8]通过现场试验获得土体参数, 对罗源湾软土地区路基填筑进行了真空联合堆载预压处理方法有限元模拟分析。

综合以上分析可知, 对于路堤边坡的研究方向较为广泛, 研究取得的成果也较多, 但对于膨胀土地基条件下路堤边坡在降雨条件下的稳定性, 研究相对较少。因此本文着重分析在膨胀土地基条件下路堤边坡降雨工况下的边坡稳定性。

1 工程概况与模型建立

以云南某工业园区新建铁路 DK2+000-DK2+100 路堤段为研究对象, 根据地勘报告内容, 覆盖层主要由含有亲水性的伊利石黏土组成, 为膨胀性质土体, 下伏岩层为风化、中风化玄武岩, 此次建模主要基于有限元软件 Geo-studio 软件中 SEEP/W 模块以及 SLOP/W 模块, 模型以 DK2+040 路基断面为建模对象, 模型的基本情况如图 1 所示。在模型中蓝色区域为风化与中风化玄武

岩层, 黄色区域为膨胀土性质的覆盖土层, 绿色区域为路堤填土层。模型网格划分中路基填土层网格单元几何尺寸最小, 膨胀土层影响不大因此网格设置较大, 采用这种区分方法其次, 玄武岩层最大, 模型总共划分为 3470 个节点, 3399 个单元, 网格单元均为四边形, 路堤填土层为重点分析区域因此网格尺寸最小, 下伏玄武岩层对分析结果, 可以减少网格数量, 提高计算效率, 同时能保证计算的准确性。

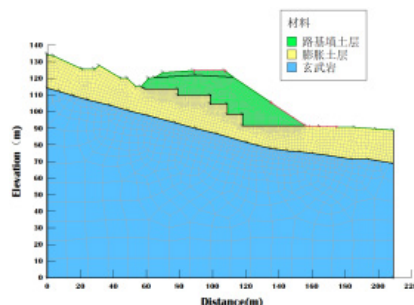


图 1 路堑开挖模型

2 水力边界条件设置

降雨条件下边坡稳定性分析, 要在基于 SEEP/W 模块的分析条件下, 把分析结果导入 SLOP/W 模块进行降雨对边坡稳定性分析, 降雨入渗是典型的非饱和渗流问题, 要进行非饱和渗流分析, 由于非饱和渗流问题为瞬态渗流, 一般来说要瞬态渗流问题要基于稳态渗流分析, 本次模拟中稳态渗流分析的水力边界条件设置如图 2 所示, 具体为: FH、JG 段为压力水头边界, 总水头高度分别为 100m 和 80m; MF、KJ、HG 段为不透水边界; ML 与 LK 段为零流量边界。而瞬态渗流边界即降雨条件下水力边界, 仅需要把 ML 与 LK 段改为对应雨强的流量边界即可。在渗流分析中: 本次降雨强度设置为

70mm/h, 降雨时长为 6h, 土体材料模型采用饱和 - 不饱和土体, 其中膨胀土与路基填土的渗透系数函数曲线如图 3 所示。在边坡稳定性分析中, 土体本构模型采用莫尔 - 库伦, 其中土体的物理力学参数参考值如表 1 所示。

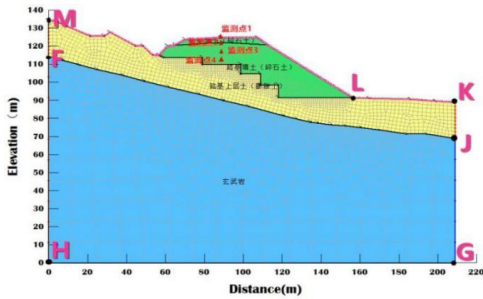


图 2 水力边界条件设置

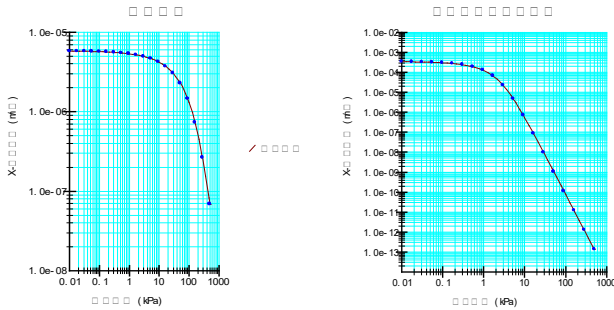


图 3 渗透系数曲线

表 1 各岩土层力学参数参考值

土层	密度 (kg/m ³)	泊松比	粘聚力 (kpa)	内摩擦角 (度)
膨胀土	1590	0.37	13.2	22.7
路基填土	1960	0.37	6.5	31
玄武岩	2020	0.32	24	33

3 降雨过程中路堤边坡稳定性分析

3.1 土体孔隙水压力变化

为便于分析降雨过程中路堤填土土体孔隙水压力变化情况, 在路堤模型中设置了 4 个监测点, 具体布置如图 4 所示。通过设置 70mm/h 降雨强度, 分析路堤边坡在连续 6 个小时降雨条件下, 边坡孔隙水压力变化, 得到 4 个监测点孔隙水压力变化, 如图 4 所示, 未降雨时, 4 个监测点孔隙水压力均为负值, 表现为土体基质吸力, 降雨过程中, 监测点 1 孔隙水压力上升最快, 降雨 1h 时即土体饱和, 降雨 1-2h 中土体中出现大于 0 的孔隙水压力, 随后孔隙水压稳定在 0 值, 这主要由于监测点 1 位于路堤表层, 最先受到雨水入渗影响; 监测点 3 与监测点 4 孔隙水压力在降雨 4 小时后才发生增大,

且监测点 2 的上升幅度远大于监测点 3, 这主要由于降雨入渗随着土体深度的增大, 开始逐渐减弱。

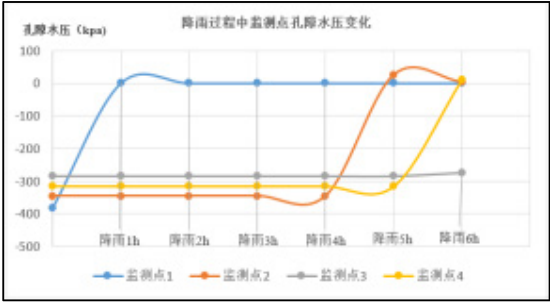


图 4 监测点孔隙水压力变化

3.2 降雨过程中路堤边坡稳定性变化

从图 5 - 图 8 可以得出: 当路堤边坡未降雨时, 路堤边坡的土体浸润线为模型水力边界条件设定的水位高度线, 浸润线无变化, 路堤边坡临界滑动面的安全系数为 1.132; 当降雨 1 小时条件下, 路堤边坡膨胀土区域内地下水浸润线有小幅上升, 同时路堤填土中开始出现浸润线, 但浸润的深度较浅, 表明雨水入渗深度还较小, 此时路堤边坡临界滑动面的安全系数下降到 1.05, 下降较明显, 表明降雨初期路堤边坡稳定性开始明显下降, 且临界滑动面深度较小, 表明边坡易出现浅层滑坡; 当降雨 3 小时, 浸润线在路堤填土中的深度较大, 表明雨水入渗影响进一步加大, 其中路堤边坡的临界滑动面深度变大, 边坡安全系数进一步降低到 0.987, 表明此时边坡产生滑坡的深度开始逐渐增大, 同时边坡稳定性逐渐降低; 当降雨达到 6h 时, 浸润范围进一步扩大, 浸润线继续上升, 扩展到路堤填土的大部分区域, 边坡安全系数进一步降低至 0.761, 表明路堤边坡稳定性进一步降低。

以上分析可知: 当降雨持续时, 边坡土体内的浸润线逐渐由路堤表面下渗, 地下水位线不断抬升, 边坡临界滑动面深度不断增大, 路堤边坡稳定性不断下降。路堤填土中的浸润线在降雨过程中的变化, 并不是向下发展而是从右往左延伸, 这说明膨胀土地基对于雨水的渗入有一定的限制作用, 但这样却导致雨水在路堤填土中的入渗进一步加剧。

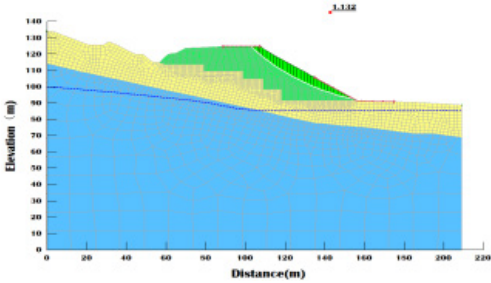


图 5 无降雨条件下

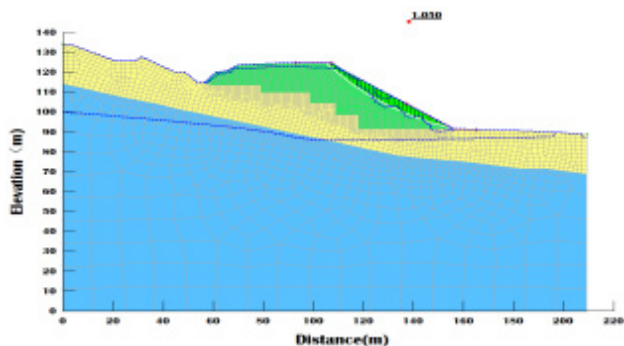


图6 降雨 1h 条件下

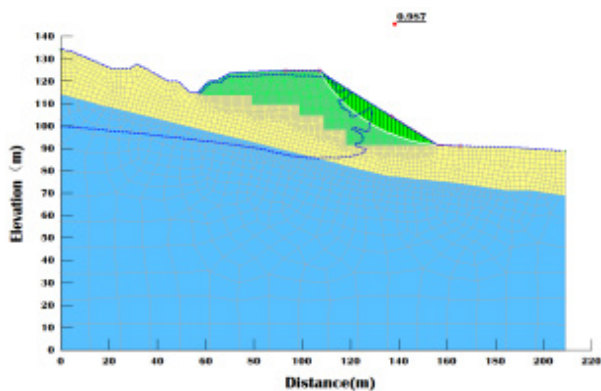


图7 降雨 3h 条件下

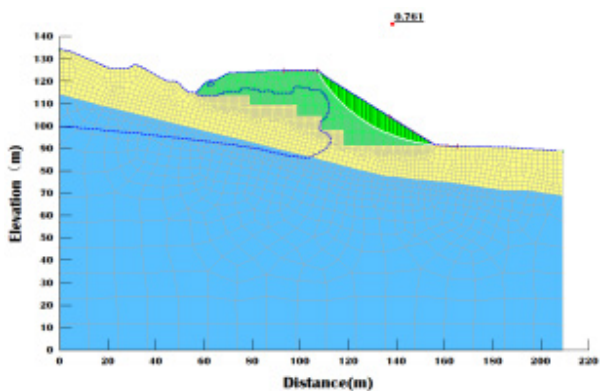


图8 降雨 6h 条件下

4 总结

通过分析膨胀土地基条件下铁路路堤在降雨条件下,边坡土体孔隙水压力的变化与浸润线变化情况可以得出,膨胀土地基在一定条件下限制了雨水的渗入地基,但却同时加剧了雨水在路堤填土中的扩散;通过分析路堤边坡在降雨过程中的安全系数变化以及临界滑动面的深度变化,可以认为随着降雨的持续,路堤边坡稳定性在逐渐降低,路堤边坡潜在滑动面的深度也在不断增加,

而膨胀土地基加剧了这一趋势的发展程度。

参考文献:

- [1] 叶咸,高瑜,鲁婷,吴铸,张劲松.复杂地质条件下泡沫轻质路基技术方案研究[J].公路,2021,66(08):1-6.
- [2] 李安洪,郭海强,王占盛,李炼.地震状况下铁路路基边坡极限状态设计验证[J].铁道工程学报,2021,38(02):23-29.
- [3] 冯忠居,于翔,高雪池,龙厚胜,王明法,赵瑞欣,王富春.公路路基边坡失稳风险及处治效果评价研究[J].公路,2020,65(09):1-8.
- [4] 陈子敬.砾石隔断层对寒区盐渍土路基边坡稳定性的影响[J].中外公路,2019,39(06):16-19.
- [5] 倪振强,秦稳,孟昭博,张保良,田忠喜.浸水路堤边坡稳定性分析及影响因素研究[J].人民长江,2019,50(S1):107-111+214.
- [6] 夏英志.某一级公路半填半挖段路基稳定性仿真研究[J].公路工程,2019,44(03):92-96+137.
- [7] 范凌燕.基于FLAC~(3D)纤维石灰土路基边坡稳定性分析[J].铁道科学与工程学报,2018,15(09):2258-2262.

