

高填方路基边坡的工程处治分析

田宇杰, 缪宏兵, 吕成林

(江苏中基工程技术研究有限公司, 江苏 南通 226003)

摘要:基于饱和—非饱和渗流理论,结合某高填方边坡,通过对研究区域(对称)的二维简化,利用有限元软件分析降雨条件下边坡的渗流特性及植被、水平排水孔等相关工程处治。研究结果表明:植被的覆盖能有效降低坡内孔隙水压力,雨后变形降低 14.3%;排水孔的合理布设能有效排除坡内积水,相对渗透系数宜取值 2 000 左右。

关键词:高填方;渗流;工程处治

中图分类号:U416 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)02-0060-04

在西南山区城市,交通进程的不断推进与工程用地的矛盾日益突出,而高填方成为解决建设用地的有效途径之一。填方工程的稳定性影响因素中,降雨入渗对坡体渗流场分布有重大影响,无疑是高填方工程失稳的主要诱发因素^[1-2]。因此如何降低雨水渗流的危害,维持高填方路基边坡的稳定,成为一个重要话题。目前在结构防护方面已取得不错的进展,本文主要分析边坡的植被覆盖及体内排水,为该类高填方的设计及安全监测提供参考。

1 模型的建立

选用 SEEP/W 软件针对高填方边坡做雨水入渗情况下的渗流场分析。边坡断面填土高度 48 m,顶宽 30 m,按 1:1.75 放坡。为简化计算,本模型不考虑 2 m 平台,地基宽度取 129 m。整个边坡共划分 807 个节点、742 个单元,几何形状和有限网格划分如图 1 所示。

边界条件:在 SEEP/W 模型边坡顶面和坡面施加降雨入渗流量边界,构成降雨模拟的瞬态模型。若降雨强度超过土的入渗系数,则多余流量不计入渗流流量。假定边坡底面和左侧边界不透水。

初始条件:水位线位于下 15 m 高程处,该状态作为瞬态渗流分析的初始条件。

降雨模拟:根据气象条件,该区域月平均降雨

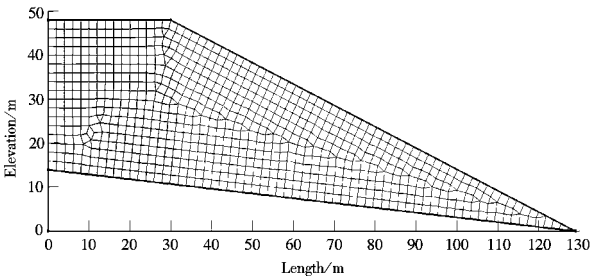


图 1 几何形状及网格划分
Fig.1 Geometry and mesh generation

最大值为 150 mm。模拟降雨强度采用最不利雨强 150 mm/d,历时 1 d,分析该降雨过程边坡的变化情况。

利用饱和与非饱和渗流理论,通过工程类比法及土体饱和渗透系数,根据 Fredlund^[3]模型拟合确定该填方边坡岩土体的土水特征曲线,如图 2-图 3 所示,填土体的物理力学指标见表 1,初始及雨后孔隙水压力分别见图 4、图 5。

表 1 填土体物理力学指标		
Table 1 Physical and mechanical indexes of rolling soil		
序号	指标	数值
1	重度/(kN·m ⁻³)	19.5
2	泊松比	0.36
3	内摩擦角/(°)	20
4	粘聚力/kPa	30
5	吸力摩擦角/(°)	10

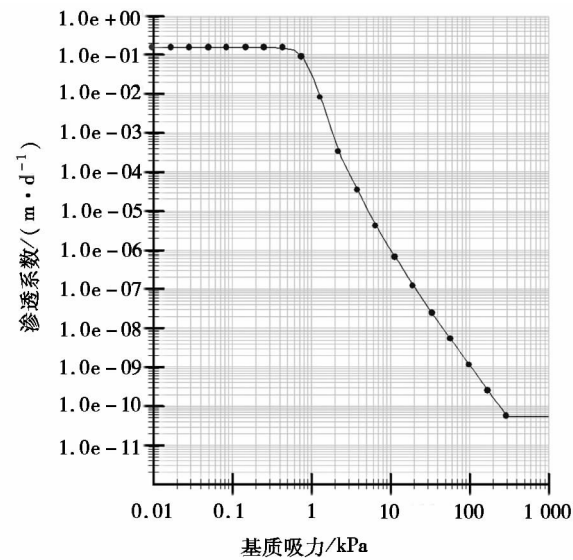


图 2 渗透系数与基质吸力关系曲线

Fig.2 The relationship between coefficient of permeability and matrix suction

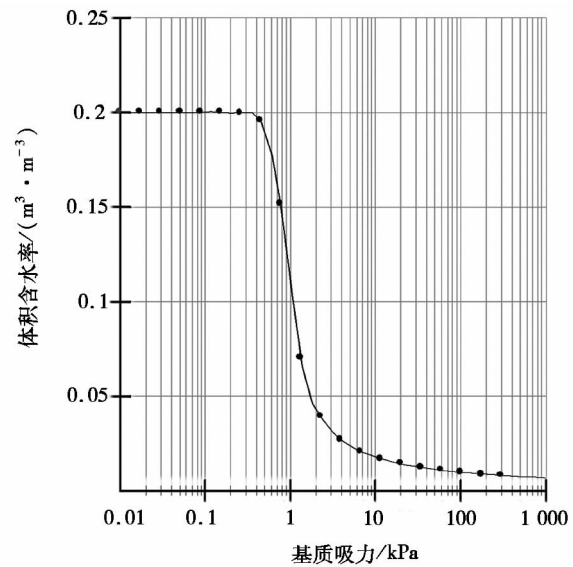


图 3 体积含水率与基质吸力关系曲线

Fig.3 The curve between volumetric water content and matrix suction

2 结果分析

2.1 孔隙水压力分析

由图 4 - 图 5 可知,地下水位以下的孔隙水压力按 $P = \gamma h$ 分布,地下水位处的孔隙水压力为零,水位线以上的基质吸力按线性增加;坡体表面孔隙水压力在雨后迅速增大,并随着时间的推移形成坡顶至浸润面沿坡面方向的贯通渗流场,雨水向坡底汇聚使得右侧坡底浸润线抬高。

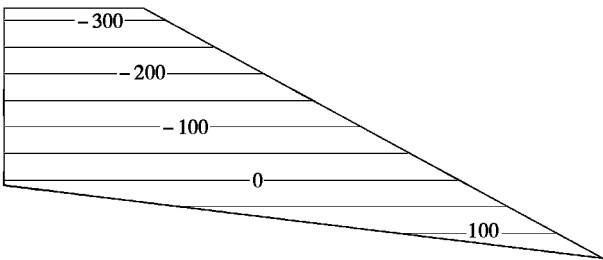


图 4 初始孔隙水压力

Fig.4 Initial pore water pressure

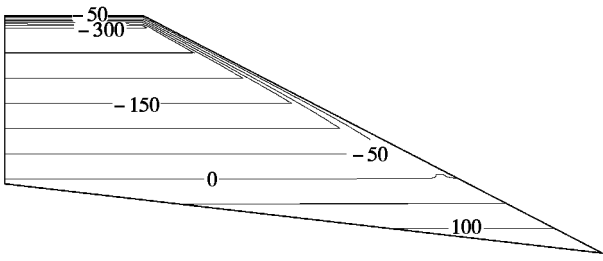


图 5 雨后孔隙水压力

Fig.5 Pore water pressureafter the rain

2.2 工程处治措施及分析

2.2.1 工程防治措施

雨季该工程出现较大的沉降及坡面不同程度的破损,在设计、监测相关单位的建议下对该边坡进行植被覆盖,尽量减小雨水的冲刷作用;同时,在坡脚处增设水平排水孔,保证地下水的顺利排出。草本植物的根系主要分布在边坡表层,对表层土有很好的加筋作用,显著提高填土的强度并锚固土层,对浅层稳定性有着重要影响。水平排水孔的设立,可以降低地下水位,消除或减轻水对坡体的压力以及地下水对土体的物理化学作用。而且排水孔施工简便、无需经常维护,是一种比较经济有效的排水设施。

2.2.2 工程防治分析

结合该填方工程,运用 SEEP/W 软件模拟该工程在植被作用下的位移改善及排水设施对地下水的作用原理。

2.2.2.1 植被护坡作用分析

本节采用数值方法分析降雨条件下植被边坡的稳定性。通过模拟降雨边坡的渗流行为,求得边坡内的孔隙水压力分布,再将所得分布情况与 SIGMA 软件进行耦合计算植被边坡的变形,研究植被对高填方边坡雨水入渗稳定性的影响。

实验表明,植物根系可以使表层复合土的粘聚力明显提高,然而内摩擦角随含根量的提高不是很明显,可以忽略^[1]。本文在复合土层的模拟

中,通过工程类比选取附加粘聚力为 14.3 kPa,根土复合层的厚度取 5 cm。根据毛伶俐^[4]对植被根系的力学分析,植被含根量与抗剪强度的关系见表 2。

表 2 含根量与抗剪强度表

Table 2 Table of root content and shear strength

根系分布 密度/%	含根量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力/kPa	
		实验值	增量
3	24.89	17.5	7.5
4	33.11	20.6	10.6
5	41.48	24.3	14.3
6	49.82	29.2	19.2
7	58.14	33.8	23.8

图 6 为植被覆盖后的雨后孔隙水压力分布云图。从图中可知,渗流场整体上与未覆盖植被的边坡分布相似,都是坡面孔隙水压力迅速增加,随后向坡脚方向汇聚,使得坡脚处浸润线抬高;但是由于表层植被的覆盖,植被复合土持水能力较坡体土强,且饱和度较小,所以在根土复合区出现了暂态饱和和区,使得部分雨水沿着复合区顺势向下,削弱了雨水的下渗,有效地降低了边坡内的孔隙水压力。

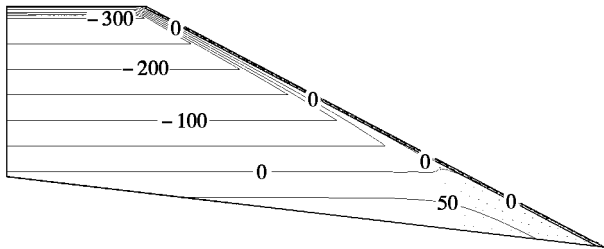


图 6 植被覆盖雨后孔隙水压力
Fig.6 Pore water pressure of vegetation cover after the rain

通过 SIGMA 模块与 SEEP 模块的耦合,求得雨后边坡的沉降位移如图 7 - 图 8 所示。从图 7 - 图 8 可知,在模拟的强降雨工况下,最大位移发生于坡顶,而坡底及两侧逐渐减小;在植被的防护作用下,坡体最大位移为 2.4 cm,比未覆盖植被工况低 14.3% 左右。

2.2.2.2 水平排水孔分析

上文表明降雨过程易使坡脚率先饱和,所以对于填方工程而言,治坡先治水是一条重要的经验。通过排水,不仅可以减小因水渗入而引起填土体强度的削弱,而且还能降低动、静水压,进而可使土体稳定程度提高。大量的工程实践证明,

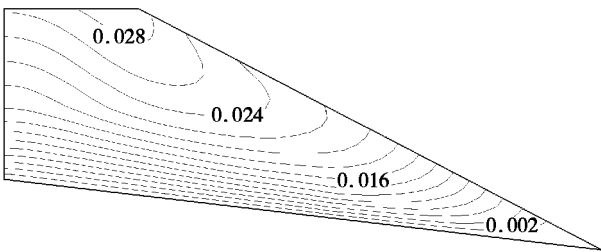


图 7 雨后位移(未覆盖植被)
Fig.7 Ddisplace after the rain (not covered by vegetation)

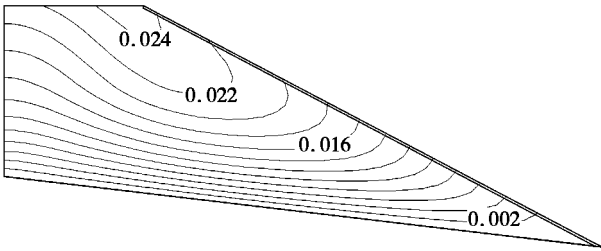


图 8 雨后位移(覆盖植被)
Fig.8 Ddisplace after the rain (covered by vegetation)

体内排水是改善和提高边坡稳定性的一项经济有效的处理措施。

正常情况下,水平排水孔实质上是一个水平的、充满空气的柱状结构。本次模拟中将水平排水孔简化为渗透性较大的特殊介质,并用渗透系数 $K(K = k_{\text{排水孔}}/k_{\text{周边介质}})$ 来表征水平排水孔的导水性能。文献[5]也有对体内排水的相关研究,但是在模拟计算过程中均对排水管的渗透系数给出一个很大的值,而没有给出一个合理范围。本文在对该高填方边坡排水设施模拟基础上,通过比较渗透系数 K 来探讨排水孔渗透系数的值区间。由于模型系二维模型,故在高程 3 m 处设置一长 20 m、直径为 20 cm 的排水设施。

图 9 为模拟的排水孔在排水 4 d 后的孔隙水压力云图。从图中可以看出水平排水孔的布设能有效地降低地下水位,排出体内水;图 10 为通过 SEEP/W 与 CAD 交互所绘饱和区面积。水平排水孔渗透系数的大小直接决定了排水孔的导水性能。当排水孔的渗透系数取值 100 时,排水孔几乎没有排水能力;当渗透系数取值 500 时浸润线略向内扩展,排水孔已经发挥作用;当渗透系数增至 2 000 时,浸润线明显向内扩张,可知其排水性能已很好地突显;随着渗透系数继续提高至 3 000,5 000 时,浸润线没有明显的变化,趋于稳定。由图 10 可知,当相对渗透系数小于 2 000

时,曲线降低明显,渗透系数超过 2 000 时,曲线相对平缓。所以相对渗透系数并不是越大越好,当 K 等于 2 000 时已能充分反映排水孔的导水性能。故基于本边坡的模拟计算,以及各边坡排水性能的差异,建议 K 取值在 2 000 左右。

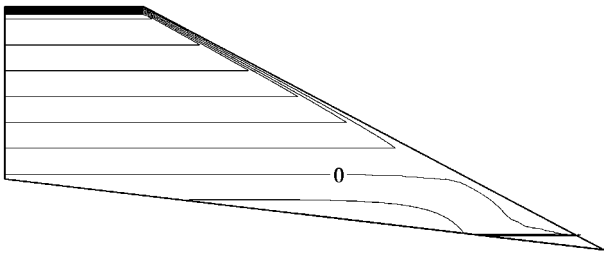


图 9 $K=3\,000$ 的排水孔隙水压力分布
Fig. 9 The drainage of pore water pressure distribution on 3 000

3 结论

通过对某高填方路基边坡的二维简化模拟,研究了边坡降雨渗流及植被、排水孔等相关工程

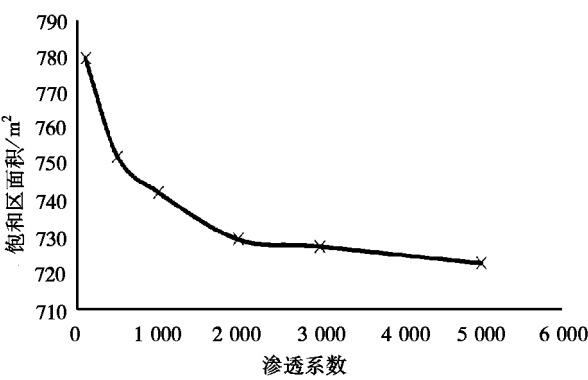


图 10 不同渗透系数对应的饱和区面积
Fig. 10 Different permeability coefficient corresponding to the saturated area

的处治。结果表明:(1)坡体表面孔隙水压力在雨后迅速增大,并随着时间的推移易形成坡顶至浸润面沿坡面方向的贯通渗流场;(2)植被的覆盖易使根土复合区形成暂态饱和区,起到疏导、阻截的作用,同时对雨后坡面变形起到有效的抑制作用;(3)水平排水孔对排除坡体内水作用明显,同时相对渗透系数宜取值 2 000 左右。

参考文献:

[1] 王成, 缪宏兵. 基于 Geostudio 的降雨边坡稳定性分析[J]. 徐州工程学院学报, 2014, 29(3): 9-14.
[2] 缪宏兵. 考虑降雨入渗的填方高边坡稳定性分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.
[3] FREDLUND D G, XING A Q. Equations for the soil-water characteristic curve[J]. Can. Geotech. J, 1994, 31(4): 521-532.
[4] 毛伶俐. 生态护坡中植被根系的力学分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
[5] 邓云潮. 高速公路拓宽路基综合防排水系统研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.

Analysis of Engineering Treatment for High Filled Embankment Slope

TIAN Yujie, MIAO Hongbing, LÜ Chenglin
(Jangsu zhongji Engineering & Technology Research Co., Ltd, Nantong Jiangsu 226003, China)

Abstract: Based on the saturated unsaturated seepage theory, combined with a high fill slope, through the study area (symmetric) of two-dimensional simplification, the finite element software was used to analyze the rainfall conditions under slope seepage characteristics and vegetation, horizontal drain hole related engineering treatment. The results show that the vegetation cover can effectively reduce the pore water pressure in the slope, and the deformation can be reduced by 14.3% after the rain, and the drainage hole can effectively eliminate the water in the slope, and the relative permeability coefficient is 2 000.

Keywords: high-fill; seepage; engineering treatment

(责任编辑:张英健)