

某山区公路斜路堤挡土墙地基填土 稳定性分析及处治方法

赵福义

(贵州智恒工程勘察设计咨询有限公司, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 针对斜路堤挡土墙边坡失稳问题, 本文依托贵州省某山区二级公路路堤工程, 开展了理论、数值与现场测试研究。研究表明: 对于山区斜路堤挡土墙, 在降雨情况下, 挡土墙后土体饱水后下滑力增加, 按既有规范设计路堤墙地基稳定性与承载力难以达到设计要求。通过理论计算与数值模拟, 提出了在坡脚增设抗滑桩支护措施以保证其稳定性。数值分析表明: 坡脚设置抗滑桩后边坡变形明显减少, 桩顶最大位移约 1 cm, 边坡从欠稳定状态提高到稳定状态。本文研究可对类似工程提供借鉴。

关键词: 边坡稳定; 挡土墙; 抗滑桩; 山区斜路堤

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2021)02-0131-06

Stability analysis and treatment of inclined embankment retaining wall of a mountain highway

ZHAO Fu-yi

(GuiZhou ZhiHeng Engineering Survey Design & Consulting Co., Ltd., Guiyang 550001, China)

Abstract: Aiming at the problem of slope instability of inclined embankment retaining wall, the theoretical, numerical and field test research has been conducted in this paper based on the embankment project of a mountain second-class highway in Guizhou province. The study shows that for the slope embankment retaining wall in mountainous area, the sliding force of the soil behind the retaining wall increases when the soil is full of water under the condition of rainfall. Furthermore, the foundation stability and bearing capacity of the embankment wall foundation are difficult to meet the design requirements according to the existing specifications. Based on the theoretical calculation and numerical simulation, anti-slide piles were proposed and applied at slope foot to ensure its stability. The numerical simulation showed that the deformation of the slope reduced after the anti-slide piles installation at the slope foot. The maximum displacement of the pile top is around 1 cm and the slope stability has been improved from the unstable state to the stable state. This study can provide reference on the similar projects.

Key words: slope stability; retaining wall; anti-slide pile; mountain slope embankment

0 引 言

路基挡土墙及边坡的失稳不可避免的造成了路基沉降、整体性垮塌、交通中断等, 影响了人民群众的正常出行, 也对生命和财产造成了一定的损失。挡土墙路基用以防止路基变形或支挡路基本体或山体的位移, 以保证其稳定。挡土墙的稳定性分析主要有抗滑移稳定性分析、抗倾覆稳定性分析及挡土墙地基及填土的整体稳定性分析等。

有关路基挡土墙及边坡的稳定性分析, 国内外学者做了大量的工作且成果显著。张涛等^[1]将土骨架作为研究对象, 将渗透力考虑为外荷载作用于土骨架上, 采用强度折减法, 对坡面水位下降过程中的边坡稳定问题进行研究, 主要讨论不同因素对非饱和土质边坡安全稳定的影响。谢永利等^[2]总结了工程边坡在稳定性分析方法、工程设计和分析软件等理论方面的共性研究成果, 分别阐述黄土、膨胀土、冻土和岩质工程边坡在理论方面的新研究进

展, 并指出特殊岩土体工程边坡研究的进一步方向。王建林等^[3]结合工程实例, 采用不平衡推力法和数理统计方法, 运用地下水饱水面积比和地下水排泄系统理论, 分析了降雨作用下山区公路重力式高挡墙的稳定性的。蒋鑫等^[4]运用 Phase 有限元软件, 考虑土-结构相互作用, 建立数值模型, 开展基于剪切强度折减法的山区公路拓宽加筋路基稳定性分析, 探究填土、土工格栅和填土-土工格栅界面三者力学响应动态演变规律及其对路基稳定性的影响。马涛^[5]以某挡土墙实例为研究对象, 计算了基于可靠度反分析模型的挡土墙倾覆和滑移稳定安全系数, 并进行了参数敏感性分析, 同时将基于可靠度模型的计算结果与基于确定性模型的计算结果进行了对比分析。于昕左^[6]采用等效重度法, 将挡土墙与填土视为一体, 基于 Fellenius 法和简化 Bishop 法的假设条件, 通过水平条分与斜条分法, 导出了水平柔性拉筋式重力墙-填方边坡整体稳定系数计算公式。对于墙-坡整体稳定系数, 数值模拟计算结果与简化 Bishop 法较为相近, 且均大于 Fellenius 法。高玉峰等^[7]回顾土质边坡稳定性分析 3 种主要方法的国内外研究现状, 对已有的三维土质边坡分析方法研究存在的困难进行了分析, 针对三维土质边坡稳定性分析方法存在的问题和近些年的发展, 展望了未来的研究方向。

目前, 对于路基边坡稳定性分析, 挡土墙的抗倾覆及抗滑移稳定性分析的研究已经取得了一定的成果, 但是对于斜坡上挡土墙地基及填土的整体稳定性分析却罕有研究。本文依托于贵州省某山区二级公路路堤滑坡治理工程, 结合工程实例, 计算分析挡土墙地基及填土的整体稳定性, 提出处理方法, 为今后类似的滑坡治理工程提供参考。

1 工程概况

贵州省某山区二级公路路堤滑坡治理工程 K9+255~K9+300 段左侧为填方路堤, 路堤墙(浆砌片石挡墙)已施工完成, 施工现场路堤墙墙身和附近房屋出现多处裂缝, 初步判断是由于施工时路堤墙地基承载力达不到相关规范和设计要求, 路堤墙基础不均匀沉降引起墙身开裂, 并伴有小规模的横向滑移, 造成下方房屋开裂。分析造成该变形的主要原因为: 经雨季时, 土体吸水饱和, 物理力学参数降低, 自重增大, 从而使墙背土压力增大, 并且上方填方高度较高, 下滑力较大。10 个月后经再次现场踏勘, K9+255~K9+300 段路基左侧浆砌片

石挡墙变形增大, 已经修建完成的 C20 片石混凝土路堤墙出现破坏, 主滑面挡墙被推出约 10 cm, 间距增大至约 12 cm, 填方路基出现滑移, 原路基横断面和路基变形破坏见图 1、图 2。

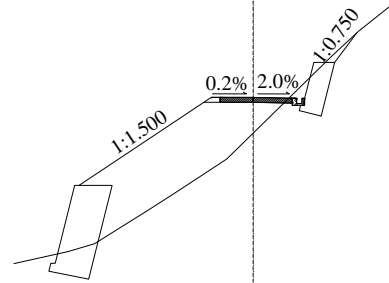


图 1 原路基横断面图

Fig. 1 Cross section of original subgrade



图 2 路堤墙基础和路堤墙伸缩缝变形

Fig. 2 Foundation of embankment wall and deformation of expansion joint of embankment wall

2 工程地质条件

2.1 地形地貌

本路段属构造剥蚀低中山河谷地貌, 最大标高 1 787.91 m, 最低标高 1 762.41 m, 相对高差约 25.50 m, 植被为灌木、耕地。

2.2 地层岩性与岩土构成

(1) 覆盖层

第四系残坡积层(Q4^{el+dl})粉质黏土: 砖红色、红褐色, 可塑至硬塑状, 表层 50 mm 为根植土。钻探揭露厚 0~3.4 m, 分布于路基右侧斜坡, 普土 II 级。

块碎石土夹黏土(Q4^{el+dl}): 灰色、深灰色、紫红色, 结构松散至稍密, 块石成分为风化玄武岩, 粒径 2~20 cm, 呈棱角状、次棱角状, 局部偶有大块石, 碎石含量约 60%~80%, 厚 4.6~11.0 m, 分布于路基左下方及填方底部, 硬土 III 级。

回填土(Q4^{mc}): 紫红色、灰色, 结构松散至稍密, 分布于填方斜坡, 硬土 III 级。

(2) 基岩

填方下伏基岩为二叠系上统峨眉山玄武岩组

第三段 (P₂β³) 玄武岩, 按风化程度分强风化、中风化两层。

强风化玄武岩: 深灰色、灰黑色, 碎裂结构, 节理裂隙极发育, 岩体极破碎, 岩质极软, 岩芯呈砂状、碎块状。钻探揭露厚 2.90~4.60 m, 属软石 IV 级。

中风化玄武岩: 深灰色, 节理裂隙不发育, 岩体完整, 较硬岩, 岩芯呈短柱状、柱状, 属次坚石 V 级。

2.3 地质构造与地震

填方区位无断层通过, 地层稳定, 岩性单一。根据《中国地震动反应谱特征周期区划图》, 工程区地震动反应谱特征周期为 0.40 s, 根据《中国地震动峰值加速度区划图》, 工程区地震动峰值加速度等于 0.05 g。

2.4 水文地质条件

(1) 地表水

填方区地表水较发育, 受大气降水影响, 雨季有水, 勘察期间未见地表水。

(2) 地下水

地下水受地层岩性、构造控制, 填方区地下水赋存条件简单。地下水主要为第四系孔隙水及基岩裂隙水, 主要受大气降水补给, 局部受地表水补给,

钻探未见地下水, 水文地质条件简单。

(3) 水质

根据地区工程经验可知: 水对基础混凝土及混凝土中的钢筋具微腐蚀性, 对钢结构具弱腐蚀性; 土对基础混凝土及混凝土中的钢筋具微腐蚀性。

2.5 不良地质作用

根据地表地质调查及钻孔岩芯观察, 工程区原始地形地貌保持较好, 工程区未发现滑坡、泥石流、崩塌等不良地质现象。

3 治理方案

该工点 2-2 和 4-4 断面如图 3 所示。

在 K9+204~K9+302 段路基左侧路堤墙底部外侧 3 m 处设置 26 根抗滑桩, 抗滑桩为直径为 2.0 m 的圆桩, 桩心距 4.5 m, 1~6 号桩长 18 m, 7~16 号桩长 20 m, 17~22 号桩长 22 m, 23~26 号桩长 20 m。1~11 号桩后浇筑 C20 混凝土, 12~26 号桩后设置 3 m 挡土板, 桩顶设置 1 m 厚系梁, 板后干码片石反压回填至挡墙外侧。治理方案平面布置见图 4, 治理后工程断面图见图 5。

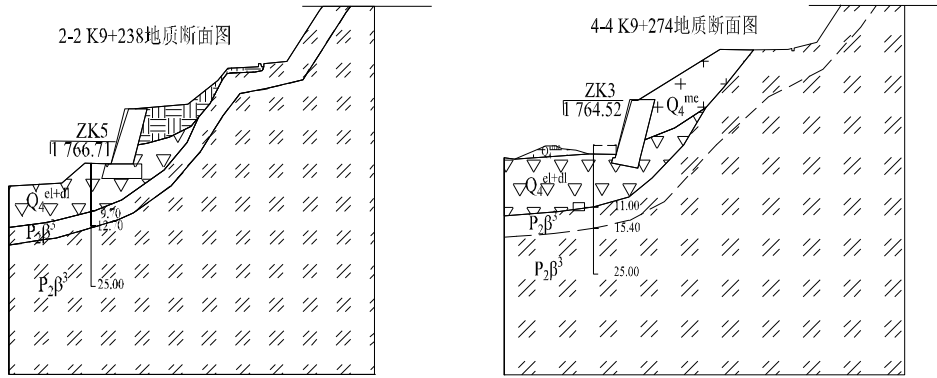


图 3 地质断面图

Fig. 3 Geological section

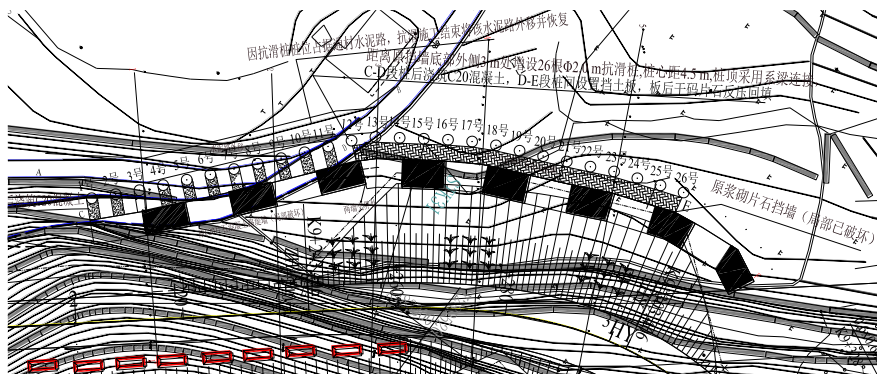


图 4 抗滑桩平面布置图

Fig. 4 Anti-slide pile layout

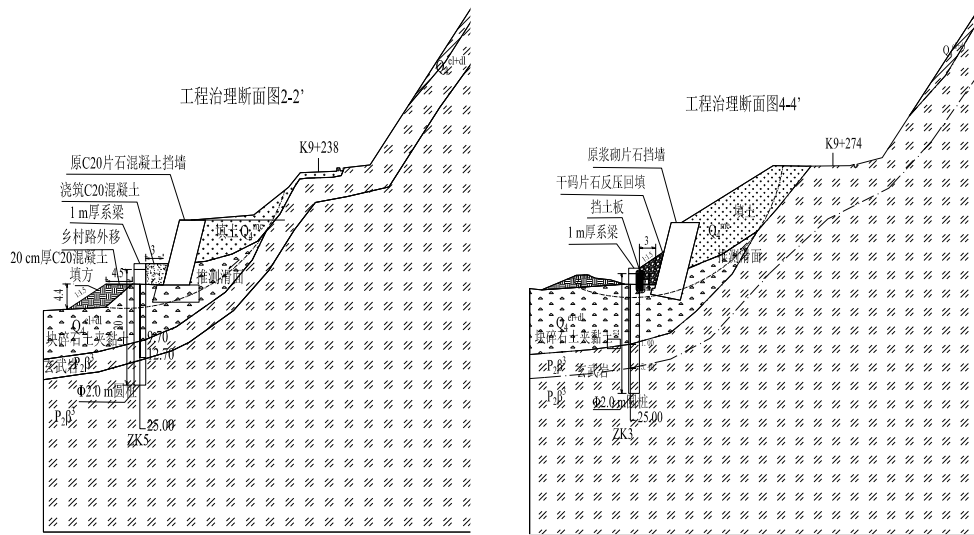


图5 工程治理断面图

Fig. 5 Engineering treatment section

4 理论计算

根据《公路路基设计规范》(JTG D30—2015), 设置于不良土地基、覆盖土层下为倾斜基岩地基及斜坡上的挡土墙, 应对挡土墙地基及填土的整体稳定性进行验算。经工程地质勘测及土工试验分析得到岩土体物理力学参数如表 1 所示。

通过理正岩土软件, 将挡土墙地基及填土划分为不同的区域, 如图 6 所示, 再应用简化 Bishop 法及简布法对其进行稳定性分析。抗滑桩设置后, 应用整体圆弧法对其进行整体稳定性分析。计算结果

见表 2。

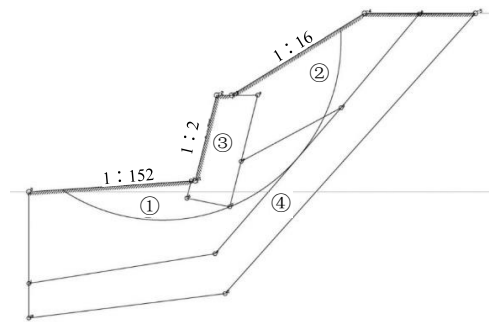


图6 土层区域划分图

Fig. 6 Regional division of soil layer

表 1 岩土物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of rock and soil

序号	岩土名称	地层代号	性状	$F_{rk}/$ MPa	$[f_{a0}]/$ kPa	$q_{ik}/$ kPa	基底摩擦 系数 μ	黏聚力 c/kPa	内摩擦 角 $\varphi/^\circ$
1	回填土	Q_4^{me}	松散至稍密	—	—	—	—	20	12
2	块石碎土夹黏土	Q_4^{el+dl}	松散至稍密	—	200	60	0.25	21	13
3	玄武岩	$P_2\beta^3$	强风化	—	400	200	0.40	50	20
			中风化	27.75	2 000	—	130	35	

表 2 不同分析方法的整体稳定性系数

Table 2 Global stability coefficient of different analysis methods

分析方法	滑动半径/m	未增设抗滑桩			增设抗滑桩		
		抗滑力/ (kN/m)	下滑力/ (kN/m)	整体稳定 性系数	抗滑桩抗滑 力/(kN/m)	抗滑力 臂/m	整体稳定 性系数
简化 Bishop 法	22.864	2 316.110	2 315.557	1.000	232	17.760	1.187
简布法	19.405	2 444.546	2 391.917	1.022	232	14.503	1.201

5 数值分析

5.1 模型建立

选择其中典型的一断面建立模型，原剖面选择非降雨工况进行计算，支护后对参数进行折减模拟暴雨工况进行计算，应力场只有自重应力场。其中第一层为块石土，中间层为强风化玄武岩，最下层为风化玄武岩。模型的岩土力学参数取值根据现场勘察结合地区经验数据和勘察报告最终确定，底部全约束，两侧边界约束方向约束。初始模型与抗滑桩支护后模型见图 7、图 8。

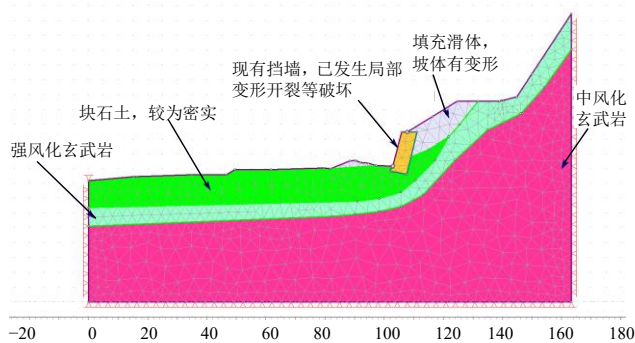


图 7 初始剖面有限元模型

Fig. 7 Initial section of finite element model

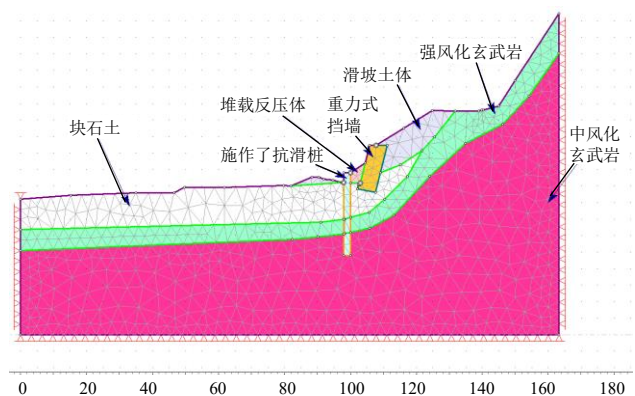


图 8 抗滑桩支护后有限元模型

Fig. 8 Section of finite element model after anti slide pile supported

5.2 计算结果与分析

计算得出边坡在自然工况下安全系数为 1.043，按照规范^[8] 属于欠稳定状态，根据位移云图最大位移约为 40 cm，位于挡墙上部，由于挡墙的作用未形成贯通性滑裂面，加固前边坡速度矢量如图 9 中红色箭头部分所示，部分土体发生越顶破坏、挡墙被土体挤压向临空面移动。设置抗滑桩和堆载反压加固后的安全系数为 1.289，且桩顶最大位移约为 1 cm，模型最大位移在坡体表面约 3 cm，对边坡稳

定性没有影响，满足设计要求如图 10。

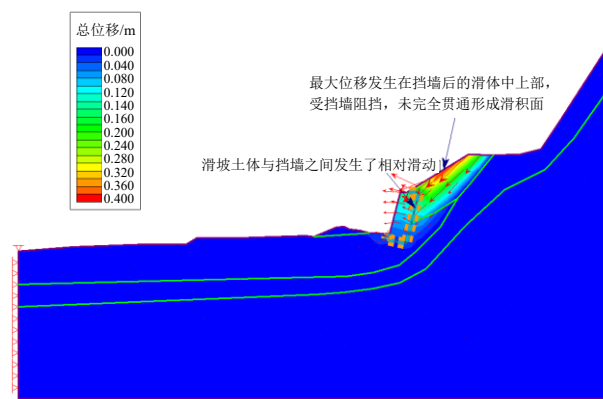


图 9 原挡土墙支护自然工况位移与度矢量云图

Fig. 9 Displacement and inclination degree vector nephogram of original retaining wall in natural condition

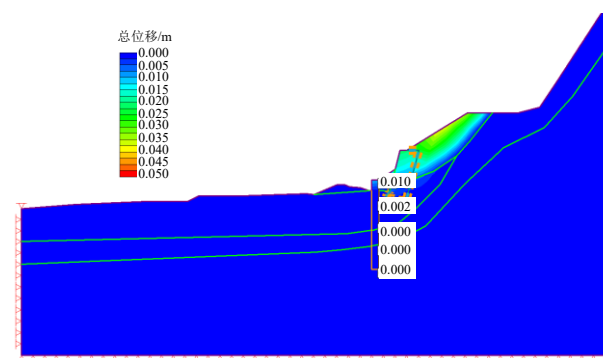


图 10 设置抗滑桩加固后的安全系数与总位移云图

Fig. 10 Safety factor and total displacement nephogram after anti-slide pile reinforcement being constructed

6 结 论

(1) 针对斜路堤挡土墙边坡失稳问题，本文依托贵州省某山区二级公路路堤工程，开展了理论与数值研究。研究发现挡墙较高墙厚填土较厚雨季土体吸水饱和，物理力学参数降低，墙背土压力增大，造成挡墙的横向变形。另外墙身较高，自重较大，路堤墙基础不均匀沉降引起墙身开裂。

(2) 理论与数值分析表明：斜路堤挡土墙在饱水状态下，安全系数在 1.0~1.05 之间，属欠稳定状态；通过设置 26 根抗滑桩，桩后设置 3 m 挡土板，暴雨工况下安全系数达到了 1.289，且桩顶最大位移得出为 1 cm，坡体最大位移约为 3 cm，可有效处治斜路堤挡土墙失稳问题。

参考文献

[1] 张涛, 张慧, 黄文雄. 坡面水位下降对非饱和土质边坡稳定性影响的有限元分析[J]. 重庆大学学报, 2020,

- 43(6): 12-20.
ZHANG Tao, ZHANG Hui, HUANG Wen-xiong. Finite element analysis of the stability of unsaturated soil slope under surface water drawdown conditions[J]. Journal of Chongqing University, 2020, 43(6): 12-20.
- [2] 谢永利, 刘新荣, 晏长根, 等. 特殊岩土体工程边坡研究进展[J]. 土木工程学报, 2020, 53(9): 93-105.
XIE Yong-li, LIU Xin-rong, YAN Chang-gen, et al. Research progress of special soil and rock engineering slopes[J]. China Civil Engineering Journal, 2020, 53(9): 93-105.
- [3] 王建林, 许建聪, 孙钧. 降雨作用下重力式挡土墙整体稳定性分析[J]. 公路, 2011, 11: 10-13.
WANG Jian-lin, XU Jian-cong, SUN Jun. Global stability analysis of gravity masonry retaining wall under rainfall[J]. Highway, 2011, 11: 10-13.
- [4] 蒋鑫, 陈滔, 吴玉, 等. 刚性挡土墙拓宽加筋路基稳定性演变数值模拟[J]. 西南交通大学学报, 2018, 53(5): 1000-1008.
JIANG Xin, CHEN Tao, WU Yu, et al. Numerical simulation on stability development of geogrid reinforced widening embankment with rigid retaining wall[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2018, 53(5): 1000-1008.
- [5] 马涛. 公路挡土墙稳定安全性评估方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
MA Tao. Study on safety assessment in retaining wall stability[D]. Xi'an: Chang'an University, 2017.
- [6] 于昕左. 水平柔性拉筋式重力墙抗震作用机理与设计计算方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2019.
YU Xin-zuo. Research on aseismic mechanism and design calculation method of gravity wall tensioned with horizontally flexible reinforcements[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2019.
- [7] 高玉峰, 王迪, 张飞. 三维土质边坡稳定性分析方法研究现状与展望[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2015, 43(5): 456-464.
GAO Yu-feng, WANG Di, ZHANG Fei. Current research and prospects of 3D earth slope stability analysis methods[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2015, 43(5): 456-464.
- [8] 重庆市城乡建设委员会. 建筑边坡工程鉴定与加固技术规范: GB 50843—2013[S]. 北京: 中国建筑出版社, 2013.
- [9] 杜光波, 倪万魁. 降雨诱发型残坡积土滑坡形成机理分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2016, 36(4): 565-571.
DU Guang-bo, NI Wan-kui. Analysis of the formation mechanism of rainfall induced residual soil landslide[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2016, 36(4): 565-571.
- [10] 韩建文. 加筋土挡墙在张唐重载铁路高路堤中的应用[J]. 路基工程, 2020, 4: 139-144.
HAN Jian-wen. Application of reinforced soil retaining wall in high embankment for zhangjiakou-tangshan heavy haul railway[J]. Subgrade Engineering, 2020, 4: 139-144.
- [11] 李丽华, 李行, 肖衡林, 等. 加筋土挡墙压实应力数值模拟分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(S1): 3130-3137.
LI Li-hua, LI Hang, XIAO Heng-lin, et al. Numerical simulation of compaction stress for the analysis of reinforced earth retaining wall[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2020, 39(S1): 3130-3137.
- [12] 谭新, 陈善雄, 杨明. 降雨条件下土坡饱和-非饱和渗流分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(3): 381-384.
TAN Xin, CHEN Shan-xiong, YANG Ming. Saturated-unsaturated seepage analysis of slope under rainfall[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(3): 381-384.
- [13] 张社荣, 谭尧升, 王超, 等. 强降雨特性对饱和-非饱和和边坡失稳破坏的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S2): 4102-4112.
ZHANG She-rong, TAN Yao-sheng, WANG Chao, et al. Influence of heavy rainfall characteristics on saturated-unsaturated slope failure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(S2): 4102-4112.