

土质路堤高边坡填筑过程稳定性数值分析

邹昌敏

(浏阳市交通建设投资有限公司, 湖南 浏阳 410300)

摘要:以某省级公路土质路堤高边坡为研究背景,利用 MIDAS 数值分析软件对土质路堤高边坡填筑过程中路堤应力应变、滑动面位置及边坡稳定性进行分析。结果表明,边坡未填筑时水平应力在原状土坡脚集中,初期应着重监测原状土坡脚,随着边坡填筑高度的增大,填筑土体内的水平应力逐渐增大,监测重点应由原状土坡脚转移至填土坡脚;随着填土高度的增大,滑动面位置也在发生变化;数值分析、瑞典条分法和简化 Bishop 法得到的边坡稳定性系数均呈现先增大后减小的趋势,且有两种稳定性系数计算值比规范值小,该边坡初步设计方案不足以保证安全,需进一步采取加固措施。

关键词:公路;高边坡;土质路堤;滑动面;稳定安全系数;数值分析

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)03-0095-04

基础设施建设中经常会遇到高填深挖边坡、特殊土边坡、强风化岩层边坡及富含地下水的边坡等特殊边坡,其中人工修筑的土质路堤高边坡的稳定性问题表现突出。由于填土性质、修筑过程及环境影响等多重因素的作用,边坡的破坏机制复杂。在土质路堤高边坡填筑过程中,边坡稳定性会发生变化,分析土质路堤高边坡的稳定性对边坡治理具有重要作用。该文结合某省道填土边坡工程,采用数值分析方法分析不同工况下路堤高边坡的稳定性。

1 工程概况

1.1 项目简介

某省级公路路线沿山麓斜坡和沟谷展布,全长 9.157 446 km,采用二级公路设计标准,设计速度 40 km/h,路基宽 8.5 m,路面宽 7.5 m。路线中包含桥梁 2 座,涵洞 43 处,深路堑 22 处,高填方 13 处。沿线各路基填挖基本平衡,填方略小于挖方,填方高度一般不大,路线中心填土高度一般为 1.0~6.0 m,填方高度大于 20 m 的路堤为 13 段。

选取该项目 K3+530 处高填方边坡为研究对象,该边坡高度约 26.8 m,初期设计分 3 级放坡,高度由下而上分别为 10、9、7.8 m,中间设台阶,宽 1.5 m,各级边坡坡率均为 1:1.25。路面面层厚度为 20 cm(见图 1)。

1.2 水文地质条件

该边坡位于沟谷中的低洼部位,地表浅层分布种植土、粉质黏土,地表浅层下为第四系全新统可~

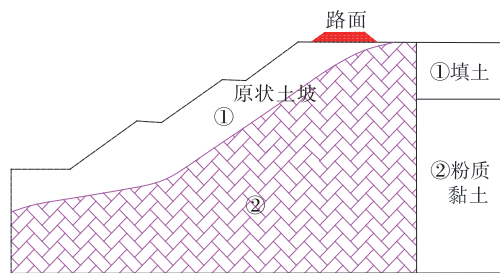


图 1 土质路堤高边坡示意图

硬塑状粉质黏土。

所在区域的地表水主要为大气降水补给,以地表径流、大气蒸发、人工抽取等方式排泄,受气候及人类活动影响较大,水量随季节变化明显。路线上部覆盖层多为冲积粉质黏土及卵石层,受地形条件的影响,冲沟地段地下水埋深一般较浅,水文地质条件较复杂。地下水类型大致分为上层滞水、第四系松散覆盖层中的空隙潜水、基岩裂隙水、岩溶水。

天然地层为粉质黏土,其天然含水量为 17.8%~30.9%,空隙比为 0.536~0.874,弹性模量约 55 MPa,粘聚力为 16.6 kPa,内摩擦角为 26.5°。

填土料场位于 K0+240 右侧。该料场主要土料为低液限砂质黏土,其主要技术指标如下:液限为 40.2%;塑限为 23.5%;塑性指数为 16.7;天然重度为 18.8 kN/m³;最大干密度为 1.67 g/cm³;最佳含水率为 19.8%;承载比,27 次时为 6.21%,50 次时为 9.87%,98 次时为 10.65%。该料场的土料承载比一般,可作为路堤和路床填料。

2 数值模拟及分析工况

2.1 模型建立

采用 MIDAS/GTS 软件进行数值模拟,根据诸多类似工程研究成果,选择 2D 模型进行计算,取边坡高度的 6 倍作为横向分析尺寸、边坡高度的 3 倍作为竖向分析尺寸。该边坡高度为 26.8 m,模型尺寸为 160 m×80 m。

模型内土体按 2 层划分,下层为天然土层,为粉质黏土;上层为填土层。各土层均采用 Mohr—Coulomb 模型模拟,土体参数见表 1。

表 1 各土层的物理参数

土层	天然重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模 量/MPa	泊松 比	粘聚力/ kPa	内摩擦 角/(°)
填土层	18.8	60	0.3	12.3	28.4
天然土层	16.9	55	0.3	16.6	26.5

为平衡计算精度与计算效率,在填土层内进行精确计算,网格划分最大单元为 1 m,而天然土层基底的最大单元为 5 m,在界面处软件进行自动耦合。约束条件为模型两侧约束水平位移,底部约束水平、竖向位移,相关力场仅考虑重力场。数值分析模型见图 2。

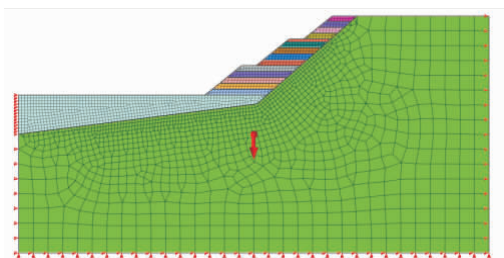


图 2 土质路堤高边坡数值分析模型

2.2 模拟工况

为了模拟不同填筑高度时土体内应力应变分布及安全系数的变化,将填筑过程由下而上每 2 m 取一工况进行分析,共 14 种工况,各工况时边坡高度见表 2。

表 2 各工况下边坡高度

边坡分级	填土高度/m
一级	0、2、4、6、8、10
二级	12、14、16、19
三级	21、23、24、26.8

3 边坡数值计算结果与分析

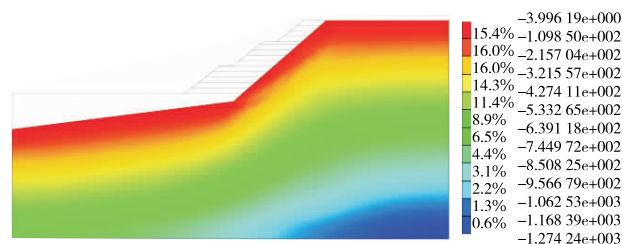
从应力分布、滑动面位置、稳定性安全系数三方面对路堤高边坡填筑过程中的稳定性进行分析。

3.1 应力分布

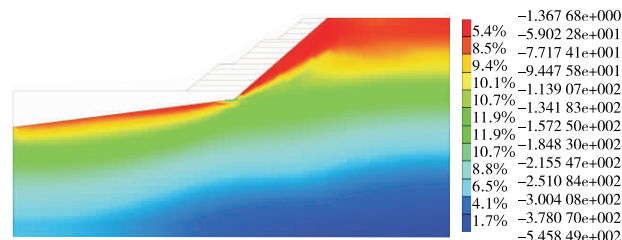
未填土时边坡应力分布见图 3,填土高度为 10、19、26.8 m 时边坡应力分布见图 4~6。

由图 3 可知:在未进行填土时,边坡土体垂直应力与覆土厚度成正比,呈层状分布,随深度的增加而增大;水平应力在坡脚处较大,最大值为 157.25 kPa。垂直应力和水平应力分析结果表明原状土坡存在整体滑塌风险。

由图 4 可知:在边坡填土高度为 10 m 时,边坡一级台阶形成,由于填筑土体的重力,土体垂直应力

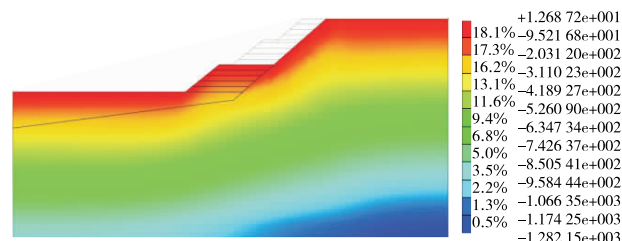


(a) 垂直应力分布

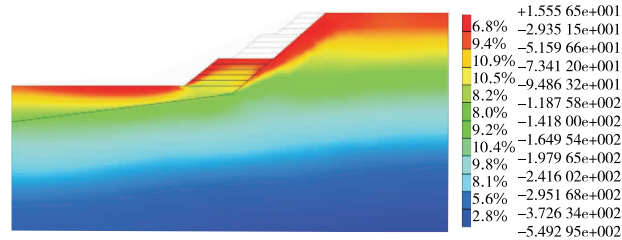


(b) 水平应力分布

图 3 未填土时边坡应力分布(单位:kPa)



(a) 垂直应力分布



(b) 水平应力分布

图 4 填土高度为 10 m 时边坡应力分布(单位:kPa)

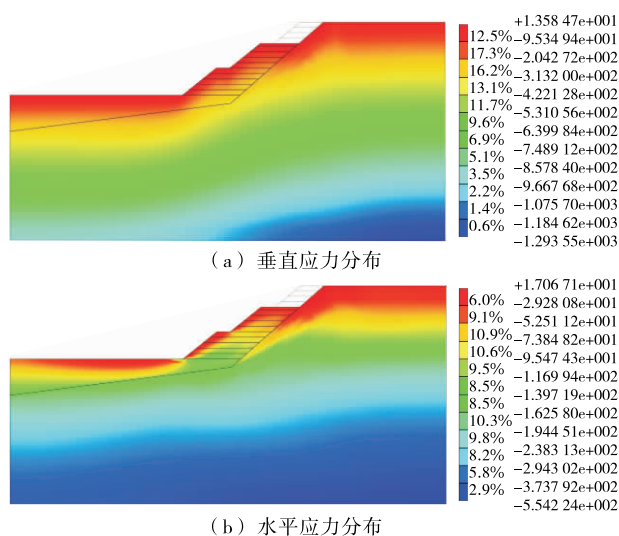


图5 填土高度为19 m时边坡应力分布(单位:kPa)

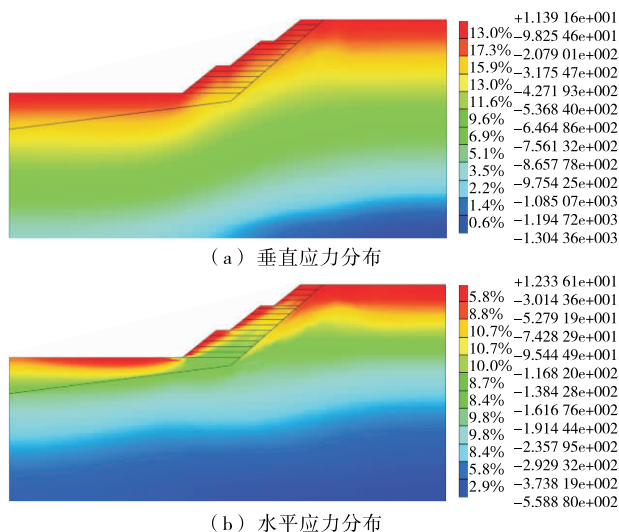


图6 填土高度为26.8 m时边坡应力分布(单位:kPa)

增大,总体分布规律未有明显变化。由于填筑土体的压脚作用,原坡体坡脚处水平应力减小25%。第一级土体的填筑对原边坡应力均匀分布有积极作用,但填筑土体内水平应力较大,最大值为118.76 kPa,容易导致一级填筑边坡滑塌。

由图5可知:填土至高度19 m时,边坡二级台阶形成,边坡各土体垂直应力继续增大,总体分布规律未有明显变化。填筑土体一、二级边坡的水平应力陡然增大,最大为162.53 kPa,增幅为37%,填筑土体一、二级边坡存在整体滑塌风险。

由图6可知:填土至高度26.8 m时,边坡三级台阶均形成,填筑土体内的水平应力持续增大,坡脚出现显著应力集中,水平应力最大值为188.43 kPa,比填土高度19 m时增大16%。滑动面由原状土边

坡转变为填筑土体边坡,填筑土体三级边坡易发生整体滑塌。

综上,边坡在未填筑时应着重监测原状土坡坡脚,防止其出现崩塌、滑坡等灾害;随着边坡的填筑,滑动面由原状土坡逐渐转移至填筑土体坡脚,重点监测点应由原状土坡脚转移至填土坡脚,保持填土坡脚稳定成为填筑开始后的控制核心。此外,由于边坡填筑过程中填筑土体水平应力较大,易导致填土边坡发生滑塌,为保证边坡填筑过程中的稳定性,可对原状土体进行挖台阶处理,同时对填土边坡采取加固措施,减小填筑体边坡的水平应力。

3.2 滑动面位置

边坡填筑过程中,随着填土高度的增加,圆弧滑动面位置不断变化。填筑高度 <8 m时,滑动面在原状土坡上(见图7);随着填筑土体的增高,滑动面位置增高,滑动弧线长度减小,当填筑高度为8~10 m时,滑动面转移到填筑土体上,容易发生一级边坡局部滑动(见图8);填筑高度为10~19 m时,随着第二级边坡的填筑,滑动面延伸至第二级边坡上,容易导致一、二级边坡整体滑动(见图9);填筑高度 >19 m时,随着第三级边坡的填筑,滑动面延伸至第三级边坡上,容易导致三级边坡整体滑动(见图10)。

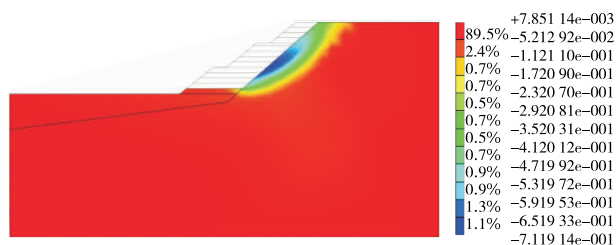
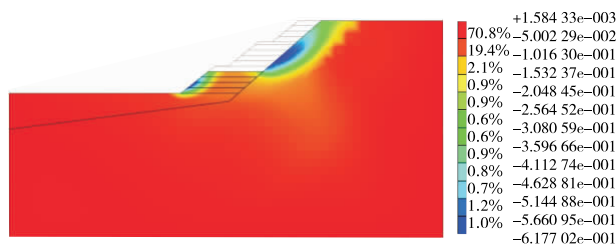
图7 填筑高度 <8 m时滑动面位置(单位:m)

图8 填筑高度为8~10 m时滑动面位置(单位:m)

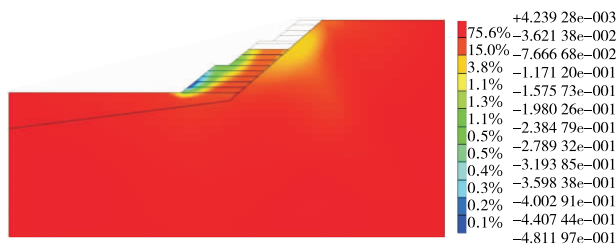


图9 填筑高度为10~19 m时滑动面位置(单位:m)

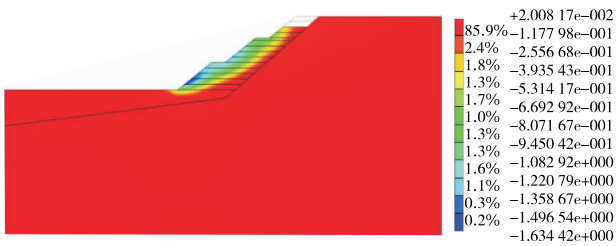


图 10 填筑高度>19 m 时滑动面位置(单位:m)

3.3 稳定性安全系数

根据 JTG D30—2015《公路路基设计规范》,不同等级公路、路堤边坡形式、地基强度指标及工况下高路堤与陡坡路堤的稳定性安全系数见表 3。根据表 3,结合该项目特点,该边坡在正常工况下的稳定性安全系数为 1.30。

为提高数值模拟精度,减小模拟误差,将极限平

表 3 高路堤与陡坡路堤边坡的稳定性安全系数规范值

分析内容	地基强度指标	分析工况	稳定性安全系数	
			二级及以上公路	三、四级公路
路堤堤身稳定性、路堤和地基的整体稳定性	直剪的固结快剪或三轴固结不排水剪切指标	正常工况	1.45	1.35
		非正常工况	1.35	1.25
	快剪指标	正常工况	1.35	1.30
		非正常工况	1.25	1.15
路堤沿斜坡地基或软弱层滑动的稳定性		正常工况	1.30	1.25
		非正常工况	1.20	1.15

注:区域内唯一通道的三、四级公路重要路段可采用二级公路标准。

衡法中的瑞典条分法、简化 Bishop 法与 MIDAS 模拟结果进行对比分析。使用瑞典条分法及简化 Bishop 法时,取 10 个以上可能的滑动面,并将可能的滑动土体划分成 10 个土条进行计算,取安全系数最小值为最不利工况,其中填土高度为 26.8 m 时的计算工况滑动面见图 11。各方法稳定性安全系数计算结果见图 12。

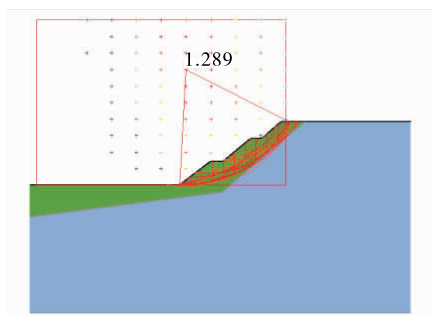


图 11 填土高度为 26.8 m 时的计算工况滑动面

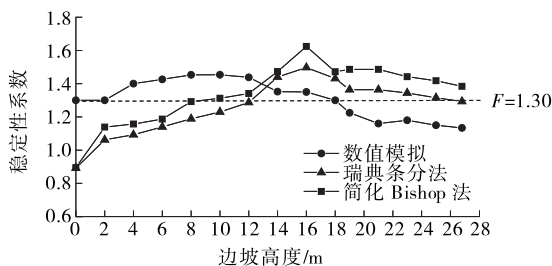


图 12 各方法稳定性安全系数计算结果对比

由图 12 可知:填筑高度<13 m 时,数值模拟所得安全系数比瑞典条分法、简化 bishop 法的大;填筑高度>13 m 时,数值模拟所得安全系数比瑞典条分法、简化 bishop 法的小。3 种计算方法所得稳定性安全系数均呈先增大后减小的趋势,这是由于填筑高度较小时,滑动面在原状土坡上,填筑土体对原状土坡有压脚作用,对原状土坡稳定有利,填筑先期边坡整体稳定性系数会增大;随着填筑高度的增大,滑动面由原状土坡逐渐转移到填筑土坡上,且随着填筑土体高度的增大,填筑边坡的稳定性系数越来越小。3 种计算方法中,数值模拟计算所得整体稳定性系数为 $1.13 < 1.30$,瑞典条分法计算所得整体稳定性系数为 $1.29 < 1.30$,简化 Bishop 法计算所得整体稳定性系数为 $1.38 > 1.30$,有两种方法的计算值比规范值小,可确定该边坡初步设计方案不足以保证安全,需进一步采取加固措施。

4 结论

(1) 边坡未填筑时水平应力在原状土坡坡脚处集中,填筑初期应着重监测原状土坡坡脚,防止其出现崩塌、滑坡等灾害;随着填筑高度的增大,填筑土体内水平应力逐渐增大,监测重点应由原状土坡坡脚逐渐转移至填土坡脚,防止填筑土体滑动、崩塌。

(下转第 102 页)

或砂浆封闭。

(6) 地表、深层排水处理。1) 地表排水措施。边坡体周界外缘 5 m 处及坡体中部设置截水沟排除地表水。2) 深层排水措施。由于坡体已滑动, 裂缝、裂隙发育, 地表水及地下水集中于滑动带处, 影响边坡的稳定。为排出坡体内部积水, 于第一级边坡布设 9 m 长深层导水孔排水。导水孔直径为 110 mm, 导水管采用 $\phi 100$ mm PVC 或 HDPE 带孔波纹管, 管外用透水无纺土工布包裹。导水孔上仰与水平夹角为 10° , 呈梅花形布设, 导水孔间距 2~3 m、长 9 m。实际工程中可根据边坡开挖情况、边坡水出露位置、抗滑桩开挖后验证的地下水埋深、层位等适当调整。在路堑边沟下方加设排水渗沟, 降低地下水位, 避免地下水对路基产生影响。

4.2 施工步骤

(1) 完善山体坡面防排水。在原有边坡体周围设置截水沟, 将坡体周围和内部雨水排走, 并封闭已有裂缝, 防止雨水下渗加快坡体滑动。

(2) 结合深部位移监测进行坡体监测, 放样实施第二、三排抗滑桩, 进行抗滑桩基坑开挖和钢筋砼抗滑桩浇筑。抗滑桩采取隔桩施工方法, 待抗滑桩浇筑完成达到设计强度后进行相邻隔桩基坑开挖。

(3) 采用动态设计, 如地质情况发生变化, 及时进行调整。

5 结语

通过对 K92+191—368 段左侧边坡滑塌的治

理, 得到高速公路超长滑坡体治理体会如下:

(1) 因工程地质的复杂性和多变性, 在制订高边坡滑塌治理方案时, 先应现场了解坡体变形情况、变形过程, 分析坡体产生变形的原因及变形机制, 结合地质、水文特征等提出有针对性的处治方案。

(2) 水是产生滑坡体的最主要原因之一, 边坡施工最好避开雨季, 并在施工前做好排水措施, 以免边坡受雨水冲刷和降雨下渗而失稳。

(3) 在施工和后期运营过程中都应加强对边坡变形的监测, 发现问题及时提出解决方案。

参考文献:

- [1] 常士骝, 张苏民. 工程地质手册[M]. 北京: 中国工业出版社, 2006.
- [2] JTG D30—2015, 公路路基设计规范[S].
- [3] 廖小平, 朱本珍. 路堑边坡工程设计理论与实践[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
- [4] 尹平保, 贾文文, 罗忠涛, 等. 震区岩质边坡动力特性及影响因素数值模拟研究[J]. 公路与汽运, 2017(6).
- [5] 陈小波, 李钊, 刘龙武, 等. 土工格栅加筋土治理红黏土路堑边坡软化滑塌探讨[J]. 公路与汽运, 2017(6).
- [6] 吴勇. 山区高速公路边坡滑塌治理方案分析[J]. 建筑知识: 学术刊, 2011(11).
- [7] 朱益军, 杨少华. 浙江某高速公路大型复杂滑塌治理方案[J]. 中外公路, 2010, 30(3).

收稿日期: 2017—11—13

(上接第 98 页)

(2) 填筑高度 < 8 m 时, 滑动面在原状土坡上; 随着填筑土体的增大, 滑动面位置增高, 滑动弧线长度减小。填筑高度为 8~10 m 时, 滑动面转移到填筑土体上, 容易发生一级边坡局部滑动; 填筑高度为 10~19 m 时, 随着第二级边坡的填筑, 滑动面延伸至第二级边坡上, 容易导致一、二两级边坡整体滑动; 填筑高度 > 19 m 时, 随着第三级边坡的填筑, 滑动面延伸至第三级边坡上, 容易导致三级边坡整体滑动。

(3) 数值模拟、瑞典条分法、简化 Bishop 法所得稳定性安全系数均呈先增大后减小的趋势, 且有两种方法所得稳定性系数比规范值小, 该边坡初步设计方案不足以保证安全, 需进一步采取加固措施。

参考文献:

- [1] 史卜涛, 张云, 张巍. 边坡稳定性分析的物质点强度折减法[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(9).
- [2] 李广权, 黄震, 周国云. 基于 FLAC^{3D} 强度折减法的边坡稳定性影响因素分析[J]. 公路与汽运, 2013(6).
- [3] 姚文敏, 胡斌, 余海兵, 等. 三维软硬互层边坡的破坏模式与稳定性研究[J]. 工程科学学报, 2017, 39(2).
- [4] 杨校辉, 朱彦鹏, 周勇, 等. 山区机场高填方边坡滑移过程时空监测与稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 35(增 2).
- [5] 何忠明, 刘登生, 付宏渊, 等. 降雨入渗对粗粒土斜坡路堤稳定性及变形影响的数值分析[J]. 长沙理工大学: 自然科学版, 2017, 14(1).

收稿日期: 2017—11—16