

某高速公路滑坡的数值模拟 及后缘坡体稳定性分析

贺汇文, 龙建辉, 苏生瑞, 章 健

(长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 通过对诸永高速公路台州段1[#]滑坡(K120+085~K120+169)工程地质特征的分析, 指出沿线区存在很多因修建公路引发的工程滑坡问题, 然后采用边坡稳定性FLAC/Slope分析软件, 对滑坡滑动前、后工况下稳定性进行数值模拟, 并对滑移后的后缘坡体稳定性进行了数值分析。剪应变率云图和稳定性分析结果表明, 滑动后的后缘坡体仍处于不稳定状态, 又形成了新的滑坡体。

关键词: 高速公路; 滑坡; 稳定性; FLAC/Slope; 数值模拟

中图分类号: P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)02-0183-05

Numerical Simulation of Expressway Landslide and Its Rear Edge Stability

HE Hui-wen, LONG Jian-hui, SU Sheng-ru, ZHANG Jian

(School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract Based on analysis of the engineering geology characteristic of No. 1 landslide of Taizhou part of the Zhuyong expressway (K120+085-K120+169), it is pointed out that there are a lot of problems of landslides due to the construction of highway along the line. By employing software FLAC/Slope, the stability of the landslide is analyzed by numerical simulation under two states before and after the sliding, and the stability of its rear edge after slide is also simulated. The results indicate that the rear edge of the landslide after slide is still unstable, and has formed a new landslide.

Key words: Expressway; landslide; stability; FLAC/Slope; numerical simulation

0 引言

人类工程活动在改变地质体对象的同时也加剧了地质环境的恶化。特别在山区修建高速公路需要进行开挖活动, 这势必会打破地质体原有力学平衡体系, 诱发一系列工程边坡问题, 甚至引发工程滑坡。在浙东南中低山丘陵地貌区修建高速公路, 由于对坡脚的开挖和雨水的渗流, 从而诱发了许多工程滑坡(图1), 造成了重大损失。对此类工

程滑坡稳定性的分析评价不同于自然边坡问题, 突出表现在滑坡边界条件的显著改变。数值分析法在自然边坡和水电工程中应用较多^[1-7]。笔者以诸永高速公路台州段工程诱发1[#]滑坡(左K120+085~K120+169)为例, 在对公路沿线滑坡进行地质调查和工程地质特征研究的基础上, 应用FLAC/Slope软件模拟了滑坡体的稳定状态, 分析了滑移后后缘坡体的稳定性。拟为同类工程滑坡的数值计算和稳定分析以及滑坡处治提供参考。

收稿日期: 2007-09-20

基金项目: 陕西省交通厅科技项目(04-05K)

作者简介: 贺汇文(1965-), 男, 陕西合阳人, 高级工程师, 博士研究生, 从事矿山环境工程和地质工程研究。E-mail: he_huiwen@126.com.

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 1 滑坡推倒公路桥基柱
Fig. 1 Landslide Pushes Down Pile Foundation of Expressway

1 滑坡工程地质特征

1.1 滑坡沿线区地质概况

滑坡沿线为浙东南中低山丘陵地貌区, 由中低山、丘陵、断陷盆地及堆积平原组成。地貌形态受华夏系和新华夏系构造所控制。滑坡多以中低山丘陵地貌为主, 山体基岩埋藏浅, 植被发育, 沟谷切割强烈。区内小冲沟发育, 水位坡降大, 受季节降雨量控制。滑坡多发育于线路左坡, 岸坡下部为上侏罗统西山头组浅灰色、灰紫色晶屑凝灰岩(J_3x); 上部为第四系上更新统冲洪积(Q_3^{al-pl})、残坡积(Q^{el-dl})覆盖层。

根据现场实测的岩石节理统计资料, 由赤平投影图(图 2)分析得出: 边坡基岩节理裂隙对边坡稳定性无不良影响。

第四系堆积碎石混粘性土为碎石亚粘土与块(碎)石混杂, 块(碎)石棱角形, 强—弱风化状为主,

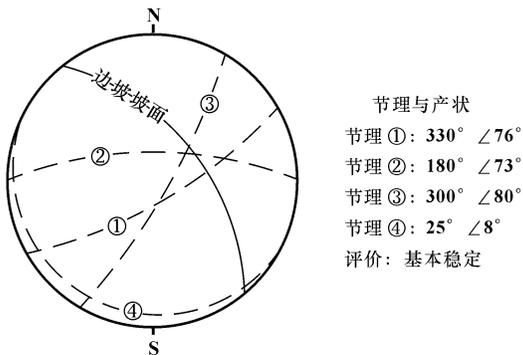


图 2 边坡区岩体节理赤平投影

Fig. 2 Stereographic Projection of the Rocking Joint in the Slope Distributed Area

部分强—全风化状。原岩以晶屑凝灰岩为主, 块石直径 20~200 cm, 含量约 10%, 碎石粒径 5~20 cm 不等, 含量 20%~30%; 其他为粘性土及少量砂, 土质不均。该层在滑坡范围内分布, 厚度变化较大, 一般在滑坡后缘破裂壁附近较薄, 在滑体中下部和前缘部位厚度较大。

1.2 滑体结构特征

K120+085~K120+169 段滑坡呈“圈椅”状。纵长约 75 m, 平均宽度约 80 m, 滑体水平面积约 5 700 m², 滑体平均厚度 8.0 m, 体积约 45 600 m³, 主滑方向 231°, 与线路轴线夹角约 86°。滑动面形态上部陡, 中下部趋缓, 总体呈圆弧状。滑床后缘出露地层, 主要为残坡积含碎石粘性土, 滑床中部及下部地层为晶屑凝灰岩, 倾角 10°~25°。滑坡主剖面如图 3。

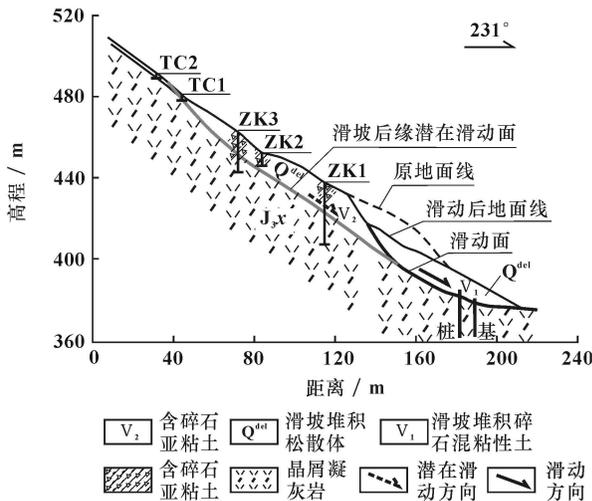


图 3 诸永高速 K120+085~K120+169 滑坡剖面

Fig. 3 Profile of the K120+085~K120+169 Landslide

1.3 水文地质条件

沿线滑坡区地形陡峭。地下水类型主要为第四系松散岩类孔隙潜水和基岩裂隙水。第四系土层大部分孔隙发育, 为透水层, 其含水量受地形影响较大。基岩上部风化、构造裂隙很发育, 含浅层裂隙潜水, 下部岩体趋于完整, 呈隔水特征。

松散岩类孔隙水主要接受大气降水补给。勘察区上部土体及强风化岩层厚度大, 结构较松散、孔隙度较大, 渗透性好, 大气降水能快速向下渗流, 直接补给松散岩类孔隙水, 松散岩类孔隙水下渗补给基岩裂隙水。

地下水径流: 松散岩类孔隙水由高水位向低水位处呈平面式流动。基岩裂隙水由于风化节理

发育, 透水性一般, 水位差较大, 沿张裂隙下渗至风化或岩层界面, 由高处向低处流动。

1.4 人类工程经济活动影响

主要人类工程活动为诸永高速公路台州段第一合同公路右线桥梁人工挖孔柱施工, 在原山体坡脚处开挖出一个施工平台, 由原坡脚向里侧开挖 30~40 m 之后, 在坡脚形成一个高 5~6 m 的临空面, 临空面岩土体不断滑塌, 边坡山体开始出现拉张裂隙, 裂隙不断加大。2005 年 11 月 9~14 日连续降雨后, 2005 年 11 月 16 日 14 时许, 突然发生山体滑坡。

2 滑坡的 FLAC/Slope 模拟

在野外现场地质调查的基础上, 用有限元 (FLAC/Slope) 对滑坡滑动前后两种工况的稳定性进行了模拟。FLAC/Slope 是 FLAC 软件的一个子集, 是 FLAC 中专门分析边坡稳定性的软件。通过数值模拟分析可以了解原有地形的剪应力分布情况, 从而进一步研究滑坡滑动前、后空间状态的稳定性^[8], 为研究滑坡体对工程的空间影响状况提供了参考依据。

2.1 模型建立

对滑坡前原有自然边坡按照地层情况进行模型分层概化。对滑动后的滑坡根据滑坡的工程地质特征, 滑动带和岩土体分层情况, 选取岩体分界面, 滑动带上下界作为分区边界。FLAC/Slope 提供模型的基本框架并将模型的左右边界和底边界设置为约束边界, 剖面坡脚和后壁分别向前和向后水平延伸 60 m。

2.2 参数确定

根据地质资料及试验结果, 综合选定本次计算所用参数 (表 1)。原有自然边坡基岩以上为覆盖层。

2.3 结果分析

各种工况下数值模拟结果见图 4~7。通过对不同条件下的滑坡体进行数值模拟, 其变化趋势与稳定状态作如下分析。

(1) 图 4~5 为坡脚开挖后形成的山体剖面在天然状态和饱和状态下计算所得剪应变率云图, 其稳定系数分别为 1.04、0.71。结合两种工况下剪应变率云图, 分析因原山体坡脚开挖形成的边坡体在天然状态下已经处于临界状态, 在持续暴雨条件下, 边坡体将失稳, 且坡脚处出现最明显的滑动现

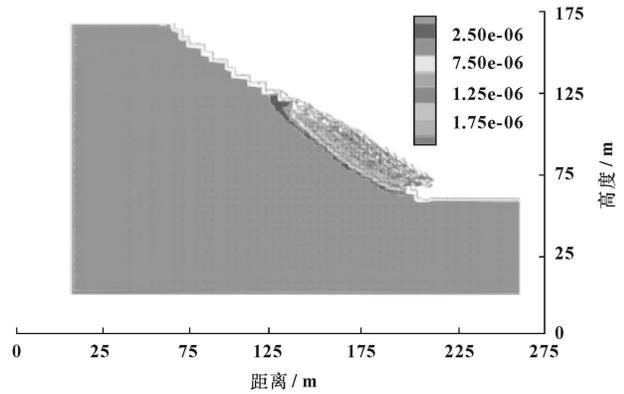


图 4 滑动前边坡在天然状态下剪应变率云图

Fig. 4 Before Sliding Cloud Figure of Shear Strain Rate Under Natural Condition of Landslide

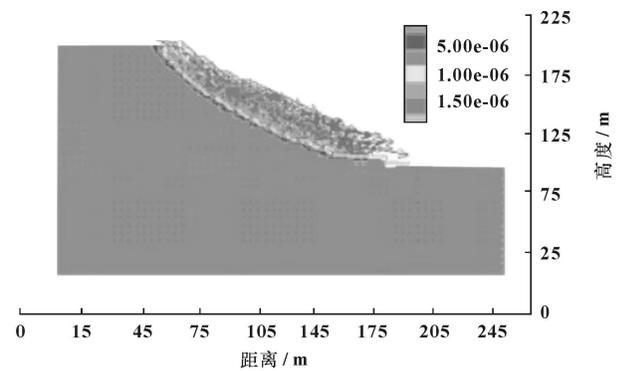


图 5 滑动前边坡在饱和状态下剪应变率云图

Fig. 5 Before Sliding Cloud Figure of Shear Strain Rate Under Saturated Condition of Landslide

表 1 计算模型中的力学参数

Tab. 1 Mechanical Parameters in Calculation Model

材料名称	类型	重度/(kN·m ⁻³)	内聚力/kPa	内摩擦角/(°)
滑体土	天然	17.2	41.0	25.0
	饱和	18.1	35.0	23.0
滑带土	天然	17.7	30.0	20.0
	饱和	18.0	25.0	18.0
滑床土	天然	17.2	43.0	28.0
	饱和	18.0	35.0	25.0
基岩	天然	26.5	200.0	31.0
	饱和	27.0	35.0	20.0
覆盖层	天然	19.8	35.5	20.7
	饱和	20.3	24.3	18.5

象, 与实际情况相吻合。

(2) 图 6~7 为滑坡滑动后该剖面在天然状态和饱和状态下计算所得剪应变率云图, 所得稳定系数分别为 1.88、1.33。结合两种工况下剪应变率云图, 分析滑坡体已经处于稳定状态, 在没有坡脚继续开挖的状态下不会再次发生滑动。

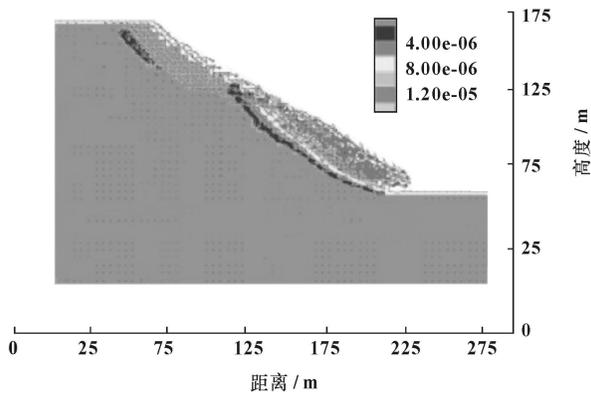


图 6 滑动后滑坡在天然状态下剪应变率云图

Fig. 6 Cloud Figure of Shear Strain Rate Under Natural Condition of Landslide

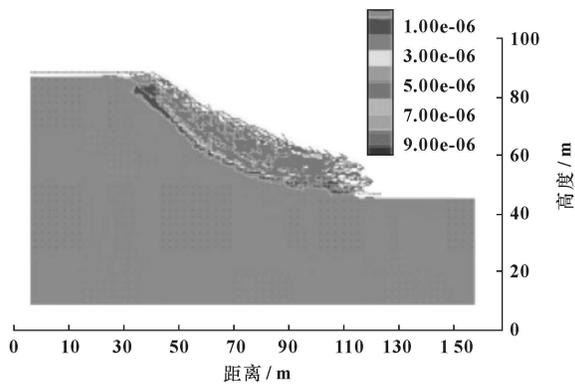


图 7 滑动后滑坡在饱和状态下剪应变率云图

Fig. 7 Cloud Figure of Shear Strain Rate Under Saturated Condition of Landslide

(3)从以上数值分析得出的剪应变率云图中可知。坡脚开挖后,山体前缘处于不稳定状态,在连续降雨条件下发生滑坡,滑坡体沿滑面活动,在图 6~7 的位置稳定下来,并且此滑坡体在坡脚再开挖的情况下不再形成新的滑动。

3 滑坡后缘坡体稳定性 FLAC/Slope

后缘坡体与已滑滑体具有相同的空间结构特征和物质成分。上部产生的张拉裂隙,以及其潜在滑动面往往与前述滑坡滑面贯通,加上前述滑体滑走后形成了一高陡临空面,客观上使后缘坡体具备了滑坡要素,易形成一新的滑坡体。通过数值模拟分析可以对其稳定性状况作更深入了解。同时,也为研究该滑坡体上部边坡在公路运营时的稳定性状况提供参考依据。

3.1 计算模型与参数选取

对滑坡后缘已经产生张拉裂隙并有潜在滑动

带的坡体,选取岩体分界面和潜在滑动带、下界作为分区边界。FLAC/Slope 提供模型的基本框架,并将模型的左右边界和底边界设置为约束边界。剖面在后缘坡脚和后壁分别向前和向后水平延伸 60 m。滑坡后缘模型参数是滑坡后缘为计算剖面,天然状态下坡体稳定系数为 1.25,饱和状态下稳定系数为 1.020。

3.2 结果分析

由 FLAC/Slope 软件计算边坡稳定性系数,对所选剖面分别考虑了在天然和饱和状态下滑坡后缘坡体的稳定性。

从图 8~9 中计算所得剪应变率云图和稳定系数分析,滑坡后缘在天然状态下处于稳定状态,但在连续暴雨的条件下,滑坡后缘处于极限状态,随着滑坡后缘拉张裂隙增大将形成新的滑坡。对山体坡脚通过的公路再次造成威胁。

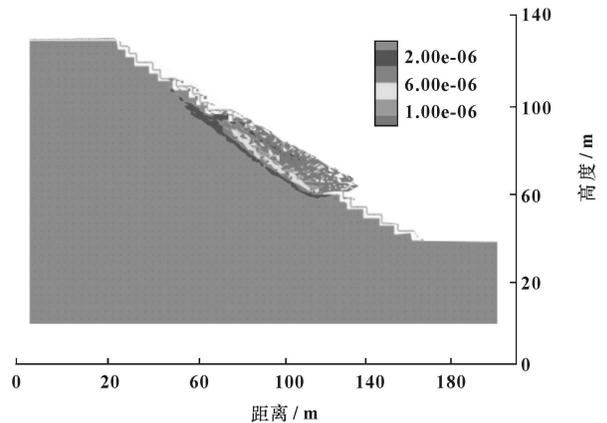


图 8 滑坡后缘在天然状态下剪应变率云图

Fig. 8 Cloud Figure of Shear Strain Rate Under Natural Condition of Trailing Edge of Landslide

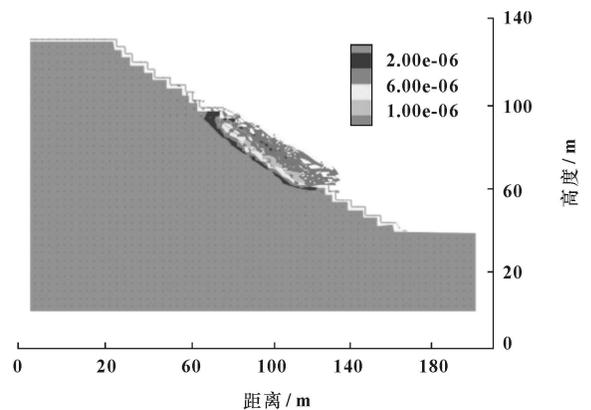


图 9 滑坡后缘在饱和状态下剪应变率云图

Fig. 9 Cloud Figure of Shear Strain Rate Under Saturated Condition of Trailing Edge of Landslide

4 结语

(1)由于人类工程活动主要是公路施工时在滑坡前缘进行开挖,打破了原滑坡应力平衡,降雨对滑坡的发生起了诱发和加速作用。施工时应预先采取适当的工程措施,防止滑坡事故的发生。

(2)滑坡后缘坡体的稳定性分析认为,天然状态下后缘坡体处于稳定状态,饱和状态下坡体为极限稳定状态,在外界的扰动下,仍有破坏的可能,需要对后缘坡体进行处理。

(3)通过对滑坡稳定状态的数值模拟和后缘坡体的稳定性分析,可进一步了解滑坡的破坏方式和稳定状况,为工程防灾处置和公路的正常运营提供参考,具有一定的指导作用。

参考文献:

[1] 刘 波,韩彦辉. FLAC 原理、实例与应用指南[M]. 北京:人

民交通出版社, 2005.

- [2] 高德彬,倪万魁,郭社锋. 延安市凤凰山东北麓滑坡危险斜坡的变形特征及稳定性分析[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 25-29.
- [3] 张雪东,陈剑平,黄润秋,等. 岷爬滑坡稳定性的 FLAC-3D 数值模拟分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(增刊): 113-116.
- [4] 谢建华,夏 斌,徐振华,等. 数值模拟软件 FLAC 及其在地质应用简介[J]. 地质与勘探, 2005, 41(2): 77-80.
- [5] 朱继良,严 明,王运生. 某大型水电站水文站滑坡稳定性三维数值模拟分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(1): 33-38.
- [6] 汪 洋,殷坤龙. 新滩滑坡稳定性的有限元分析[J]. 安全与环境工程, 2002, 9(1): 1-4.
- [7] 何清雨,陈征雷,周心经,等. 三峡库区马家屋场一后坪滑坡成因及稳定性分析[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(4): 19-23.
- [8] 王海斌,李永盛. 边坡稳定性有限元分析的处理技巧[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(13): 2386-2391.

欢迎订阅 2008 年《地球科学与环境学报》

《地球科学与环境学报》(1979 年创刊,刊名先后为《西安地质学院学报》、《西安工程学院学报》、《长安大学学报(地球科学版)》)是教育部主管、长安大学主办的地学综合类学术期刊,系中国科技核心期刊,其先后被美国《化学文摘》、美国《地质学题录与索引》、美国《剑桥科学文摘:自然科学》、美国《石油文摘》、美国《乌利希国际期刊指南》、俄罗斯《文摘杂志》、《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国科学引文数据库》、《中国地质文摘》、《中国石油文摘》等国内外十余家著名权威文摘或数据库固定收录。

本刊刊登内容主要有基础地质与矿产地质、水文地质与工程地质、环境地质与生态地质、地球物理、地球信息科学等,重点报道地学前缘及交叉学科的高水平科技成果,突出西部大开发中资源勘查、干旱与半干旱地区地质与生态环境保护以及国家重要基础工程建设中重大地质科技问题。

在此,热诚欢迎广大地学科技工作者为本刊撰写论文,对高质量特别是国家各种基金项目或重大科技攻关项目产出的论文将优先发表。

《地球科学与环境学报》为季刊,每季末月出版,112 页,每册定价 8 元,邮发代号 52—280,国外代号 Q4115,邮局漏订者亦可直接同本刊编辑部联系。

本刊地址:西安市雁塔路南段 126 号长安大学雁塔校区; 邮政编码: 710054; 电话: (029)82339978; E-mail: dkyhxb@chd.edu.cn