

泡沫混凝土在高速公路路堤滑塌抢险工程中的应用

肖军良¹, 周群华²

(1.中国路桥工程有限责任公司,北京市 100011; 2.天津市市政工程设计研究总院)

摘要: 目前,在一些设计方案受限制因素多的公路抢险工程中,为了快速修复滑塌的高速公路路基,一些地区开始使用泡沫混凝土技术。泡沫混凝土因其强度高、质量轻、可塑性强、施工速度快等特点,可为路基快速拼接等抢险工程提供较理想的解决方案。该文通过一个成功的路堤塌陷抢险工程实例,借助 Abaqus 有限元模拟计算,分析了泡沫混凝土拼接路基前后路堤边坡稳定的变化及加固效果,模拟计算和工后运营效果表明:特定情况下采用泡沫混凝土进行滑坡工程抢险较理想。

关键词: 路堤; 滑塌; 抢险工程; 泡沫混凝土; Abaqus 有限元; 数值模拟

1 工程概况

某高速公路所经地貌形态以构造剥蚀丘陵为主,其中 K26+580~K26+630 段以填方路堤通过,路基宽度 24.5 m,路基平均填高 12 m,原地表较平坦,下覆 10 m 深的软土地基,设计地基处理方案采用了水泥搅拌桩,路堤左侧填方边坡坡率 1:1.5,一级坡,路堤右侧坡脚紧邻一个灌溉渠,此灌溉渠用来灌溉沿渠成片的水田。受前后相关因素的制约,路线平面不能避让灌溉渠。经多方协调,灌溉渠不能征用也不能改移,为尽量避让水渠,路堤右侧边坡做了收陡处理,设计坡率为 1:1,通过详细的模拟计算,此段填方路堤边坡和地基的整体安全系数为 1.104,小于 JTG D30—2015《公路路基设计规范》要求的 1.2,为保证此工点路基稳定,设计在填方路堤内每间隔 1.2 m 设置土工格栅加筋(图 1)。加筋处理后路堤和地基的整体安全系数达 1.35,满足规范要求。

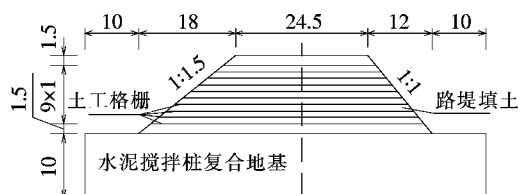


图1 加筋路堤断面设计(单位:m)

通车运营后不久此段路基右幅车道路面开裂,然后裂缝逐渐发展,较快地形成典型路堤滑塌破坏,坡脚有明显的剪出前缘(图 2)。

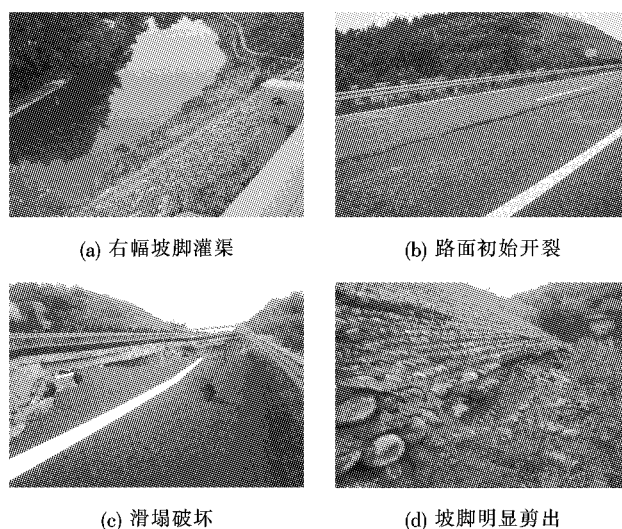


图2 灌溉旁路堤及滑移变形病害

经现场勘察、检测可知此工点地基完好,仅路堤产生滑塌,主要原因为右侧收陡边坡后施工未按设计要求每间隔 1.2 m 铺设土工格栅,同时路堤填料不均匀,局部压实度未达设计要求。为避免左幅未损坏路基长期临空失去支撑,尽快恢复全幅通行,应快速、安全、高效地将右幅滑塌路基抢修好。因路堤右幅坡脚灌溉渠不能征用,边坡占地仍然受限,修复后的路基右侧坡率仍

收稿日期:2018-05-27

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(编号:2011318740240)

作者简介:肖军良,男,硕士,高级工程师.E-mail:xiaojl@crbc.com

然不得缓于既有的坡率 1 : 1。

综合病害特点及处治要求,最终决定采用挖除右幅滑塌体(在左幅未损坏路堤上预留 2 m×3 m 台阶)用泡沫混凝土进行抢修的方案(图 3)。

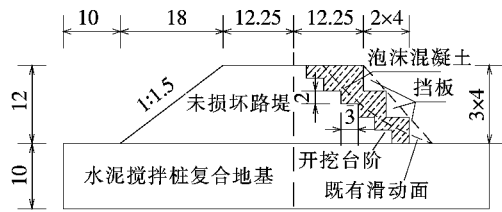


图 3 泡沫混凝土抢修滑塌路堤设计(单位:m)

2 泡沫混凝土简介

泡沫混凝土是将水泥浆、一些必要的外掺材料和发泡机产生的泡沫按比例混合成的内部含有大量气泡的轻型工程材料。

泡沫混凝土具有轻质性(重度为一般土的 1/3)、固化后的自立性、低渗透性、隔热性、良好的环保性等优点,因此在一些需要减载、占地受限、抢险等工程中得到了良好的应用。

鉴于泡沫混凝土与路基拼宽后整体计算的复杂性,拟采用有限元模型来分析拼宽前后路基稳定性的变化及加固效果。

3 有限元计算原理

3.1 本构模型和屈服准则的选取

采用强度折减法求解边坡稳定系数。选用 Molar—Coulomb 理想弹塑性模型,采用 Mohr—Coulomb 破坏准则,可模拟单调荷载下颗粒状材料的剪切破坏。

Abaqus 计算采用的 Molar—Coulomb 屈服面和塑性势面可分别参考文献[1]和文献[7]。

一般认为关联流动法则算出的变形与实际情况出入较大,不宜应用于岩土材料。因此该工点分析采用非关联流动。

3.2 边坡失稳的判据

目前对于边坡的临界失稳状态的判定没有统一标准,大致有 3 种:计算收敛与否标准、特征点位移出现拐点标准、应变区域贯通标准。在这些判据中,计算收敛与否判据适用性差,而位移拐点判据和塑性区贯通判据物理意义较明确,较符合实际破坏的发展过程。

该文主要利用位移拐点判据和塑性区贯通判据进行综合分析。

3.3 土工格栅的本构模型

土工格栅的抗拉强度较高,抗压和抗弯强度可以忽略。一般工作状态下,土工格栅不会超过弹性极限。为了计算的简化,可将格栅视作线弹性材料,在 Abaqus 中可用一维杆单元模拟土工格栅。

4 数值模拟分析

采用大型商业软件 Abaqus 进行数值模拟。格栅采用 truss 单元模拟,同时强度参数中指定不受压,只受拉,为进行格栅加筋前后、泡沫混凝土修复前后路堤的强度对比,按照实际的设计图建立实体模型,进行 3 种工况的有限元计算,即未加筋路堤、加筋路堤、泡沫混凝土拼宽路堤。计算参数如表 1 所示。

表 1 有限元计算参数

| 材料名称 | 密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 弹性模 量/kPa | 泊松 比 | 黏聚 力/kPa | 内摩擦 角/(°) |
|---------------|--|--------------------|---------|-------------|--------------|
| 路堤填筑土 | 1.9 | 2.50×10^4 | 0.3 | 15 | 22 |
| 地基土 (复合地基) | 2.2 | 1.30×10^6 | 0.2 | 100 | 30 |
| 泡沫混凝土 | 0.6 | 2.20×10^7 | 0.1 | 300 | 30 |
| 土工格栅 | | 3.87×10^7 | 0.25 | | |

4.1 未加筋路堤强度计算

未加筋路堤为实际施工后的模型,即上部为常规路堤填土,下部为水泥搅拌桩复合地基,路基左边坡坡率 1 : 1.5,右边坡坡率 1 : 1。计算结果分别见图 4~6。

4.2 加筋路堤强度计算

土工格栅幅宽 2.5 m。按照每间隔 1.2 m 满铺一层计算。计算结果分别见图 7~9。

4.3 泡沫混凝土路堤强度计算

泡沫混凝土路堤为将滑动体挖除,开挖时按照设计图(图 4)预留台阶,然后架设挡板,分层浇筑泡沫混凝土。计算结果分别见图 10~12。

通过 3 种工况的计算,可以得出如下结论:

(1) Abaqus 强度折减关于边坡失稳的判据中,该工点计算使用的位移拐点判据和塑性区贯通判据是符合并完全一致的。

(2) 未加筋路堤因为设计坡率陡于规范推荐的坡率,路堤安全储备很小,稳定系数为 1.104。这与现场

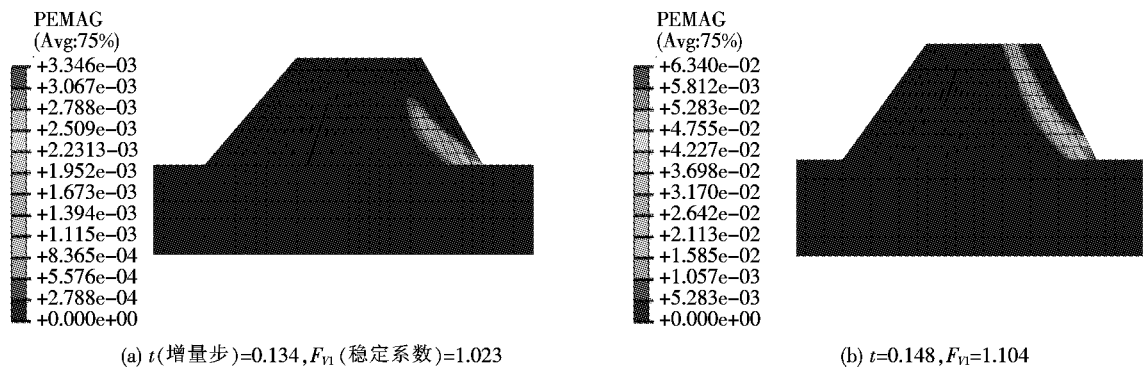


图4 未加筋路堤强度折减过程中塑性区发展情况

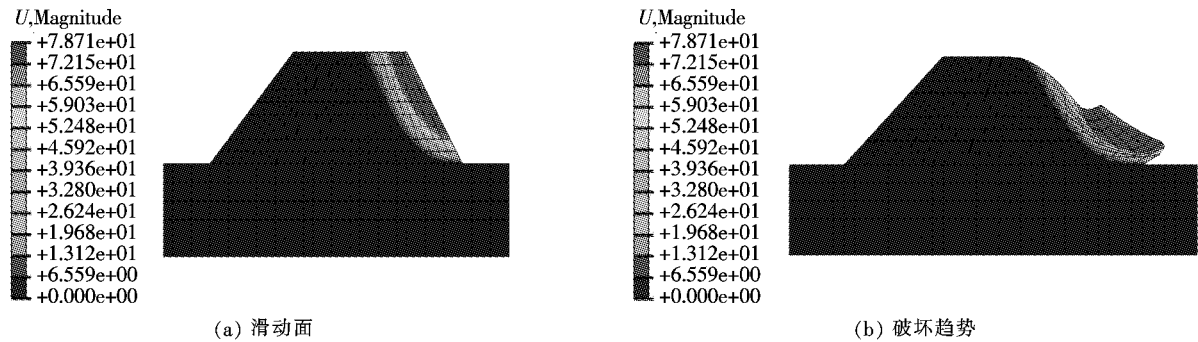


图5 未加筋路堤强度折减潜在滑动面($F_{v1}=1.104$)及破坏趋势(单位:mm)

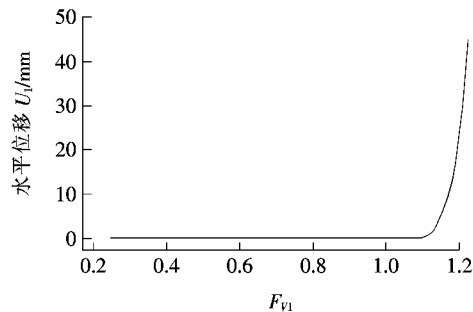


图6 未加筋路堤 F_{v1} 随边坡右上角点水平位移 U_1 的变化关系(拐点 F_{v1} 值为 1.104)

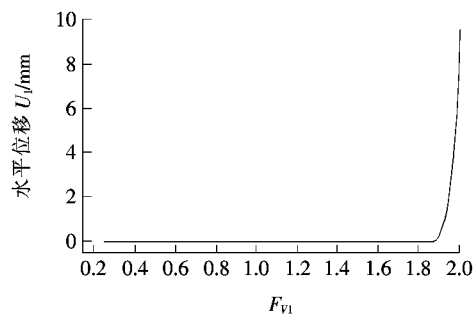


图7 加筋路堤 F_{v1} 随边坡右上角点水平位移 U_1 的变化关系(拐点 F_{v1} 值为 1.88)

施工未按设计层铺设格栅后不久就出现开裂变形破坏相符。

(3) 加筋土路堤格栅与土体形成了复合土体,能较显著地提高路堤的稳定系数,加筋后路堤稳定系数达到 1.88。

(4) 泡沫混凝土因为强度高,经现场实际对比,与水泥稳定碎石的强度较接近,经泡沫混凝土拼宽修复的路堤,路堤潜在滑动面转移到了路堤另外一侧,路堤稳定系数可以达到 1.35,满足路基设计规范的要求。这与该工点经泡沫混凝土修复治理后运营近半年状况仍良好的实际情况相符。

此工点充分利用泡沫混凝土的优点,工点变更图纸完成以后,从业主招标到施工顺利结束、检测合格,仅 1 个半月的时间,且最大限度地保证了另外一幅悬空但未损坏路基的安全。

5 结语

以一个坡脚征地受限、坡率较陡、填高较高、地基存在较深厚软弱土的填方路堤滑塌治理为例,采用泡沫混凝土成功地进行了滑塌部分拼宽抢修处理。借助 Abaqus 软件进行了数值模拟分析,采用现场试验室提供的岩土体强度参数,较好地分析了原设计加筋路堤、实际施工的未加筋路堤、抢修后的泡沫混凝土拼宽路堤各自的稳定性。此工点采用泡沫混凝土抢修后已经

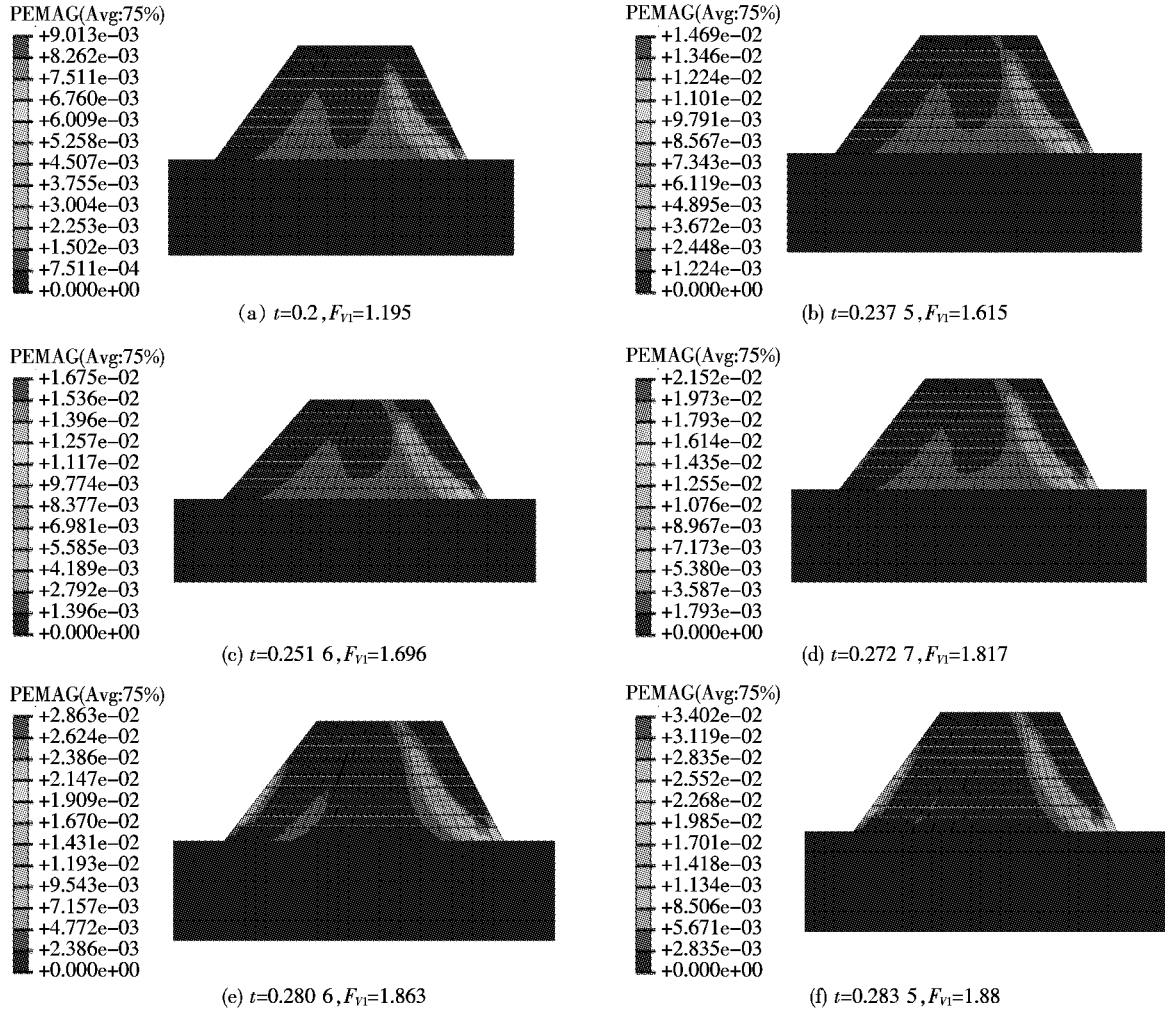
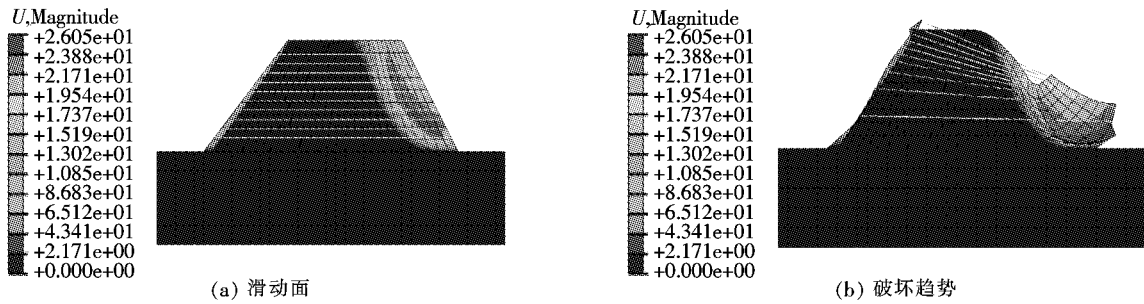
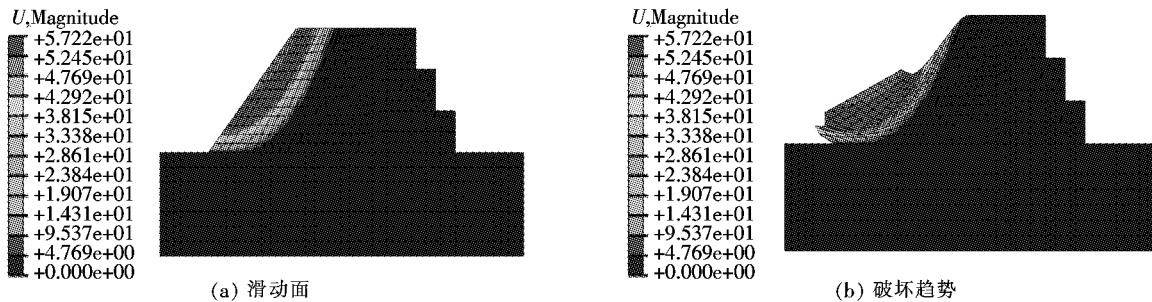


图 8 加筋路堤强度折减过程中塑性区发展情况

图 9 加筋路堤强度折减潜在滑动面及破坏趋势($F_{v1} = 1.88$)(单位: mm)图 10 泡沫混凝土路堤强度折减潜在滑动面及破坏趋势($F_{v1} = 1.35$)(单位: mm)

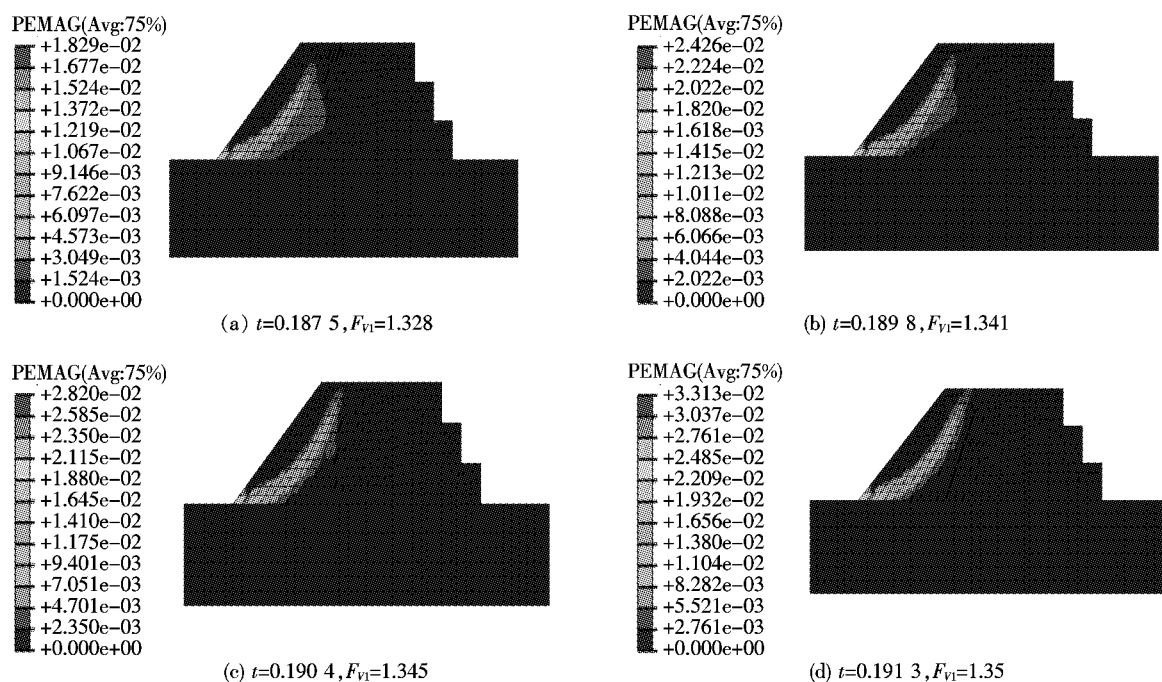
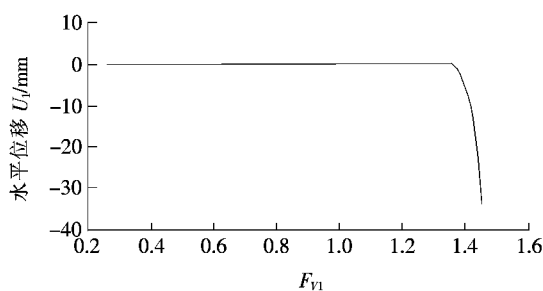


图 11 泡沫混凝土路堤强度折减过程中塑性区发展情况

图 12 轻质土路堤 F_{v1} 随边坡左上角点水平位移 U_1 的变化关系(拐点 F_{v1} 值为 1.35)

运营 1 年多,尚未发现任何次生病害,证明此工点采用泡沫混凝土进行病害治理是合适的。

泡沫混凝土具有强度高、质量轻、可塑性强、施工快速等优点,完全可以为具有上述诸多限制条件的路堤滑移病害治理提供很好的解决方案。此方案和设计方法值得类似的特殊条件下边坡变形破坏治理借鉴。

参考文献:

- [1] 薛雷,孙强,秦四清,等.非均质边坡强度折减法折减范围研究[J].岩土工程学报,2011(2).
- [2] 张阳阳,李宗坤,李艳.基于 ABAQUS 的强度折减法边坡失稳判据研究[J].浙江水利水电专科学校学报,2009(1).
- [3] 李春忠,陈国兴,樊有维.基于 ABAQUS 的强度折减有限元法边坡稳定性分析[J].防灾减灾工程学报,2006(2).
- [4] 吴顺川,金爱兵,高永涛.基于遍布节理模型的边坡稳定性强度折减法分析[J].岩土力学,2006(4).
- [5] 符亦强.基于强度折减法的边坡安全系数分析[J].公路工

程,2011(4).

- [6] 胡秀章,谷先广,李永池.修正的 Mohr-Coulomb 破坏准则在斜侵彻过程中的应用[J].中国科学技术大学学报,2008(11).
- [7] 李春忠,陈国兴,樊有维.基于 ABAQUS 的强度折减有限元法边坡稳定性分析[J].防灾减灾工程学报,2006(2).
- [8] 张学言,闫谢旺.岩土塑性力学基础[M].天津:天津大学出版社,2006.
- [9] 喻波,黄政宇.基于 ANSYS 的 ABAQUS 强度折减边坡稳定性分析[J].公路工程,2008(2).
- [10] 刘金龙,栾茂田,赵少飞,等.关于有限元强度折减有限元方法中边坡失稳判据的讨论[J].岩土力学,2005(8).
- [11] 刘祚秋,周翠英,董立国,等.边坡稳定及加固分析的有限元强度折减法[J].岩土力学,2005(4).
- [12] 栾茂田,武亚军,年延凯.强度折减有限元法中边坡失稳的塑性区判据及其应用[J].防灾减灾工程学报,2003(3).
- [13] 劭国建,卓家寿,章青.岩体稳定分析评价准则研究[J].岩石力学与工程学报,2003(5).
- [14] 吴春秋,朱以文,蔡元奇.边坡稳定临界破坏状态的力学评判方法[J].岩土力学,2005(5).
- [15] 费康,张建伟.ABAQUS 在岩土工程中的应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [16] Dawson E M, Roth W H, Drescher A. Slope Stability Analysis Reduction[J]. Geotechnique, 1999, 49(3): 835-840.
- [17] 宋二祥.土工结构安全系数的有限元计算[J].岩土工程学报,1997(2).
- [18] 韩明.高速公路软土地基土工格室加筋路堤的研究[D].东南大学硕士学位论文,2004.