

河道边坡渗流及滑坡参数反演分析

张胤, 闫园园, 苏琴, 党媛媛, 蔡慧娟

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210006)

摘要: 滑坡破坏区域土体的强度参数反演对滑坡治理及附近断面整治起着至关重要的作用, 本研究针对某段河道滑坡事故进行分析, 依据强度折减理论参数变化路径, 分别对滑动断面滑动前渗流曲线及滑动临界状态下淤泥质土层强度参数值进行反演分析, 结合极限平衡法和有限元强度折减反演结果进行讨论。结果表明, 有限元法反演得到的参数更符合实际。

关键词: 滑坡; 反分析; 极限平衡法; 强度折减法

中图分类号: TU443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7839 (2016) 09-0005-04

Back Analysis of slope seepage and landslide parameters

ZHANG Yin, YAN Yuanyuan, SU Qin, DANG Yuanyuan, CAI Huijuan

(Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd, Nanjing 210006, Jiangsu)

Abstract: Inversion of strength parameters of landslide undermine regional soil plays a vital role to landslide remediation and nearby section. Based on strength reduction theory parameters path, a certain river landslide accident is analyzed in this paper. Back analysis for seepage line and strength parameters of muddy soil in the state of limit equilibrium is carried out. The analysis of results by limit equilibrium method and finite element strength reduction are discussed. The results show that parameters obtained by finite element method are more reasonable.

Key words: landslide; back analysis; limit equilibrium method; strength reduction method

0 引言

在边坡稳定性分析中广泛采用的方法是数值分析法和刚体极限平衡法, 无论哪种分析方法, 其计算结果的精度很大程度上依赖于所选岩体的力学参数值的精确性^[1-2]。滑坡是斜坡岩土体沿着贯通的剪切破坏面所发生的滑移现象。滑坡发生时, 滑动断面附近靠近滑动面土体强度参数受扰动等各方面因素影响, 发生变化。反演已滑动断面滑带土体强度参数对滑坡断面及附近断面的加固设防起重要作用^[3]。目前, 强度参数的反演主要借助于极限平衡法和有限元法。主要思路是设定参数集合采用优化算法, 分别采用极限平衡法和有

限元法可以计算得到临界滑动时(即极限平衡状态下)滑带范围土体强度参数值^[4]。本文依托某河道滑坡事故对渗流曲线和滑坡强度参数进行分析反演, 比较基于强度折减法与极限平衡法参数反演得到结果的差别, 并与实际工程破坏情况做对比。

1 参数反演

1.1 反演流程

目前常用的反演理论基础有极限平衡法和有限元强度折减法, 基于极限平衡法的参数反演将滑坡体假定为刚体, 在搜索滑面的基础上进行力学分析建立极限平衡方程, 然而这种方法存在着

收稿日期: 2016-07-20

作者简介: 张胤(1987-), 女, 工程师, 博士, 主要从事水工结构和岩土工程数值计算及试验研究。

平衡方程不静定,必须引入力学假定的缺陷,从而导致了计算结果必然是不精确的^[5]。随着近年来计算机技术的发展,数值分析法迅速得到推广。以有限元强度折减法为代表的数值计算方法,可以考虑材料本构,分析应力应变关系,且无需事先搜索滑动面即可计算得到安全系数。本文基于有限元强度折减法,反演滑坡断面的渗流曲线,并将渗流曲线导入有限元计算软件,采用水土分算的方法,反演边坡极限平衡状态下滑面附近3-1淤泥质土层强度参数粘聚力 c 和内摩擦角,并进行稳定性分析,反演思路见图1。

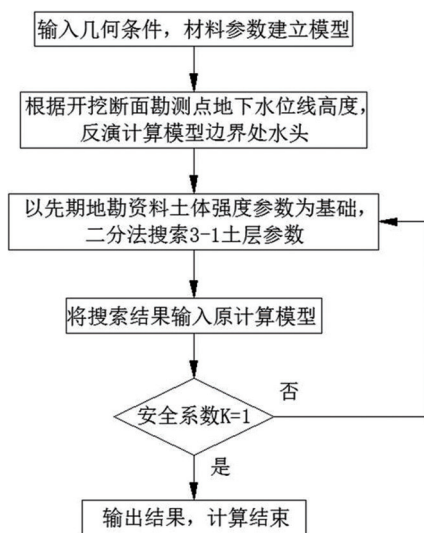


图1 反演思路

1.2 工程概况

在河道开挖的过程中,发生了较大滑坡,滑坡土体南北长134 m,东西长53 m。滑坡时河道已开挖至设计高程 $\nabla 2.50$ m,坡面基本按1:2.5完成整坡,河底导流沟深约1.5 m,滑动后导流沟由河道中间推移至西岸坡脚。坡顶下沉超过3 m,整个河底隆起约2 m。岸上原状地面15.0 m,上部有3 m多的施工堆土,无施工作业车辆通行。具体滑坡断面详见图2。

堤防下部普遍分布3-1层淤泥质重粉质壤土,土体力学强度低,孔隙比大,含水量高,排水固结缓慢,灵敏度中等~高,加荷变形量大,易产生滑动破坏,由图2可以看出,滑动上出落点位于距离边坡顶部大约10.61 m的位置。

1.3 模型建立

根据先期地勘资料,确定勘测点水位与各土层土体强度参数值。滑坡发生在右岸,因此对左岸的安全系数与渗流条件不进行考虑。模型右岸边坡顶部距离右边界38 m,右边界竖直高度取30 m,左边界竖直高度25.5 m,模型总宽度127 m,坡比均为1:2.5,河底高程2.5 m,8.5 m高程设立2.5 m平台,见图3。

为了方便参数反演搜索,断面土体强度参数选用先期地勘资料所提供的数据作为基础,物理力学参数详见表1。

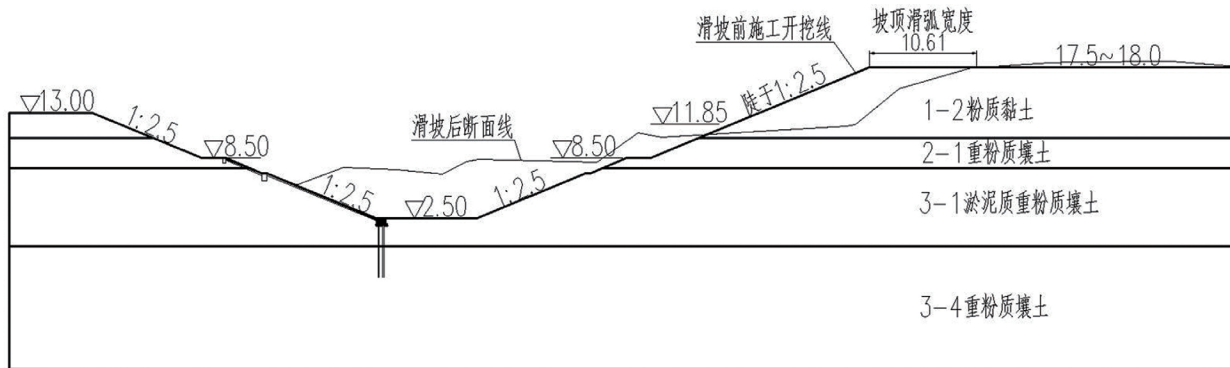


图2 滑坡前开挖断面及滑坡后地面线示意图

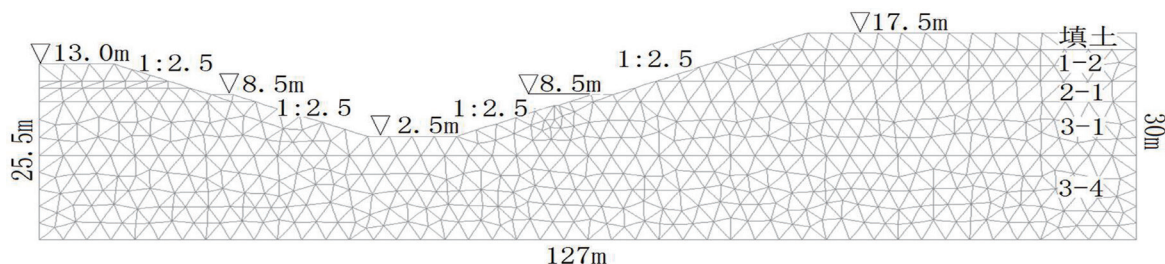


图3 边坡有限元计算网格模型

表 1 土层物理力学指标表

| 岩土编号 | 岩土名称 | 重力密度 γ (kN/m^3) | 饱和重度 γ_{sat} (kN/m^3) | 粘聚力 C_q (kPa) (快剪) | 内摩擦角 ϕ_q ($^\circ$) (快剪) |
|------|-----------|--------------------------------------|---|-------------------------|------------------------------------|
| 1月2日 | 粉质黏土 | 19.2 | 19.6 | 30.9 | 11.4 |
| 2月1日 | 重粉质壤土 | 19.6 | 19.9 | 37.6 | 11.9 |
| 3月1日 | 淤泥质中粉质壤土 | 18.2 | 18.4 | 16.6 | 8.2 |
| 3月4日 | 中粉质壤土粉质粘土 | 19.2 | 19.4 | 25.3 | 13.7 |

为使所反演边坡滑动临界物理指标更接近真实情况，反演分析计算所采用的 3-1 层土体指标，以地勘所提供的平均值为基础开始进行反分析，粘聚力快剪平均值为 17.5 kPa，内摩擦角快剪平均值为 8.8°。

2 反演分析

反演分析主要包括两部分：渗流曲线反演分析与 3-1 土层强度参数反演分析，都采用有限元数值模拟的方法来实现。

2.1 渗流曲线反演

已知 J4 探点地下水深度，反分析计算模型边界地下水深度，通过有限元渗流计算得到边坡模型的渗流曲线。

J4 探点地下水位位置为 9.10 m 高程，距原地面线河口方向深度为 22.77 m，假设随着河口开挖坡面的扩大，地下水位线也相应后退，故本次渗流反分析以 9.10 m 高程处距开挖坡面线 22.77 m 位置为一个已知渗流曲线点，结合坡脚 2.50 m 高程地下水位点，反算得到计算模型边界处地下水位为 12.63 m 高程，所得渗流曲线如图 4 所示。

2.2 滑坡参数反演

将反演得到的渗流曲线输入到有限元软件中，进行 3-1 土层强度参数反演。假设当时施工断面达到临界状态（安全系数 $K=1.000$ ）后开始发生

滑坡，反演分析计算模型中 3-1 土层的临界强度指标值（粘聚力 C 、内摩擦角 ϕ ），通过有限元边坡稳定计算模拟滑坡过程。临界强度采用强度折减理论折减路径来对滑坡参数进行反演分析，有限元计算结果与刚体极限平衡法计算结果详见表 2。

由此可知，根据极限平衡法反演出来的参数来搜索滑动面，上出落点距离边坡顶部大约 2.7 m，根据有限元强度折减法反演得到的参数来搜索出的滑动面，上出落点距离边坡顶部大约 11.6 m，见图 5。结合图 2 实际滑动断面，可以得到结论，根据有限元法反演得到的参数搜索出来的滑动面更加符合实际情况。

表 2 滑坡前断面处临界破坏物理指标（ $K=1.00$ ）

| 物理指标取值 | 粘聚力 C (kPa) | 内摩擦角 ϕ ($^\circ$) |
|--------|---------------|--------------------------|
| 极限平衡法 | 16.78 | 8.49 |
| 有限元法 | 16.75 | 8.43 |

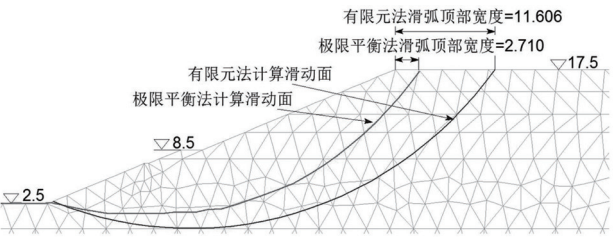


图 5 滑动面位置示意图

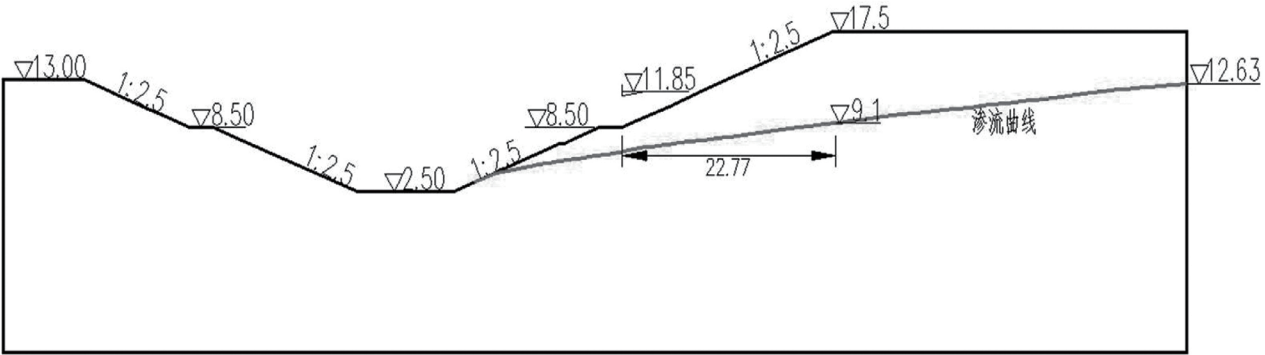


图 4 滑坡断面反演渗流曲线

3 结语

(1) 针对本文的工程, 通过有限元法反演计算得到的参数相比极限平衡法更加偏向于安全, 可以为滑坡附近断面或者包含相同土层断面的加固支护提供科学的依据

(2) 根据有限元法反演分析得到的 3-1 淤泥质土层参数输入原计算模型, 对其进行滑动面搜索, 搜索出来的滑动面更符合实际边坡滑动的情况。

(3) 对土体强度参数进行反演的前提条件很重要, 基于强度折减理论的折减路径可以有效的得到临界状态下土体强度参数变化情况。

参考文献:

- [1] 崔政权, 李宁. 边坡工程 - 理论与实践的最新发展 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [2] 黄显贵, 陈植华, 郭英丽. 基于地震力的滑坡稳定性分析 [J]. 安全与环境工程, 2005 (1): 82-84.
- [3] 蔡美峰. 岩石力学与工程 [M]. 北京: 科学技术出版社, 2002.
- [4] 刘迎曦, 吴立军, 韩国城. 边坡地层参数的优化反演 [J]. 岩土工程学报, 2001, 23 (3): 315 - 318.
- [5] 穆征, 王方勇, 李静, 等. 基于模糊综合评价模型的河流水质综合评价 [J]. 水力发电, 2009, 35 (4): 11 - 13.

(责任编辑: 王宏伟)

