滑坡地段岩土体特性对滑坡稳定性影响的研究

蔡庆娥[1] 杨秀清[2] 赵 冬[1]
(1. 中交第一公路勘察设计研究院岩土公司 2. 中铁七局集团郑州工程有限公司)

摘 要 在已有的滑坡体稳定性分析中,有限元分析方法已经有了越来越普遍的应用,但是对于堆积体滑坡,所采用的岩土体特性对于分析结果会有怎样的影响尚无系统的研究。为了提高现场测定岩土体特性的效率及经济性,在某滑坡工程基础之上进行了理论分析,得出了滑坡地段岩土体特性对于滑坡稳定性的影响关系。

关键词 堆积体滑坡 有限元 岩土体特性 稳定性

边坡稳定性的分析研究始于上世纪二十年代,最早是对土体的稳定性进行分析和计算,其成果可见于瑞典的 Fillenius、美国的 Terzaghi和 Taylor的土力学经典著作中。直到 60年代初,岩体边坡的稳定性分析研究才开始进行。到目前为止边坡稳定性分析研究的方法发展迅速,其原有的研究不断完善,新的理论和方法不断引入,边坡稳定性研究进入了前所未有的阶段,但是,由于理论和实践的局限,边坡稳定性分析的各种方法都还不完善。

边坡稳定性的分析方法归结起来可分为两类[1]:即确定性方法和不确定性方法。确定性方法是边坡稳定性研究的基本方法,它包括极限平衡法、数值方法、块体理论法、赤平极射投影法等。它们将影响边坡稳定性的各种因素都作为确定的量来考虑。例如,极限平衡法[2]是通过潜在滑体的受力分析,引入摩尔 - 库仑强度准则,根据滑体的力 (力矩)平衡,建立边坡安全系数表达式进行定量评价,这种方法由于安全系数的直观性至今仍被工程界广泛应用,目前我国边坡工程研究人员根据工程实际引入临界滑移理论进行露天边坡的评价也属于此法。这种方法的关键在于正确判断临界破坏面的位置和选定计算参数,这些都需要依靠经验确定。

数值方法是 60年代引入边坡稳定性分析中的,它包括有限元法、边界元法、离散元法及混合法等。数值方法能从较大范围考虑介质的复杂性,全面的分析边坡的应力应变状态,有助于对边坡变形和破坏机理的认识,较极限平衡方法有很大的改进和补充。

不确定性方法在边坡稳定分析中的出现约在 70年代初,一方面是由于一些新理论和方法如可靠性理论、模糊数学、灰色预测系统、分形几何、人工智能等的出现。另一方面是由于在边坡工程设计和分析中涉及有大量不确定性因素越来越被人们认识到,如岩体性质、荷载等物理方面的不确定性、取样、试验的统计不确定性,计算模型的不确定性和人为过失造成的不确定性等,这些不确定性造成的影响尽管通过提高岩石测试和计算技术的精度能够在一定程度上减少,但局部试验的精确性、确定性并不能消除岩石性状宏观判断上的随机性和模糊性,而且不可能无限度提高单项试验的精度、规模和完善确定性计算方法,因此用较简单的测试手段,对岩石工程进行大量的信息采集,应用和发展各种随机理论和方法,以提高边坡工程质量状态判断的精度,就显得十分必要。

1 研究工程背景

随着我国西北大开发的步伐加大,西部的建设力度使得众多的复杂地质的滑坡治理问题显得突出起来。以川藏公路为例,历史上著名的 102滑坡群 1991年发生了大滑动,由于种种原因,没有进行根本治理。近年来经常出现交通事故,停车断道时有发生,给人民生命财产造成了极大的损失[3]。

对于这种在巨型堆积层滑坡基础上发育的复合病害,滑坡滑动后,围绕滑坡稳定与否、滑坡各影响因素对滑坡的作用机理等争论不休,而采用数值模拟进行稳定性分析的精度如何界定,还需要我们进一步的分析论证。

对于类似的堆积体滑坡,模拟分析中选用的岩体特性参数会不会对计算的精度产生很大的影响呢?而现场测定岩体强度参数不可能穷尽所有点与所有变化情况,这种局限性就使得我们要在工程中

收稿日期〕 2007 - 6 - 01

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

寻找一种依据来为稳定性研究提供足够的精度保证,于是本文作者将自然边坡与支挡后的人工边坡有关参数作为变化参量,这些参量有:上覆层及下卧基岩的 c、φ、γ、E、ν等,采用边坡稳定分析中常用的折减强度系数法,评价各项参数对于安全性的影响,由得到的相关因素大小来评断岩质特性的重要程度,从而为试验测定的重点提供相关的参考依据。对于重要性不大的参数可以少测定或者不进行现场试验,以减少不必要的投入;对于相关影响大的因素,应该加强测定取样密度,以增加计算结果的可靠度。

边坡问题在实际上是个空间无限区域问题,其所受的外力都是空间力系,如果要采用三维的实体建模求解将存在很大的难度。研究发现,当物体的几何形状及所受的约束方式和外力分布规律均与某一坐标方向无关,而且外力的方向垂直于此坐标方向轴时,经过适当的简化和力学抽象化处理,可看做在一个平面内发生的,则其内部将发生二维的变形或应力状态,这就是所谓的平面问题[4]。我们认为边坡问题的截面形状、外力分布均不随垂向坐标轴变化,且为无限长柱体,故此发生平面应变问题,在建立有限元模型时应用平面应变。图 1为所采用的自然边坡平面计算模型。

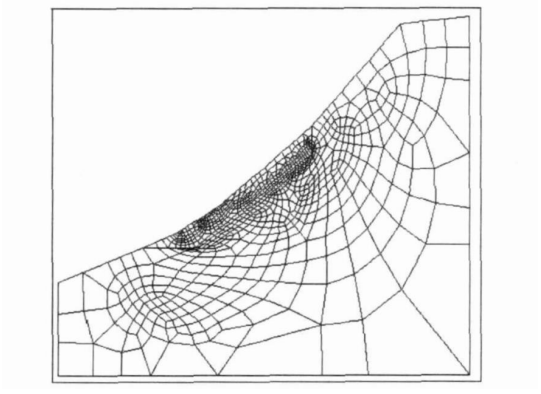


图 1 自然边坡平面计算模型

2 岩体特性参数对边坡稳定性的敏感性分析

为了得到更加合理、适用的计算结论,选用图 1的有限元模型,对于边坡计算中涉及的岩体性质特征分别考虑,按照特征值变化所引入的安全系数变化幅度来考察岩性特征等因素对于边坡稳定的影响大小。此结果是以安全系数变化趋势来反映的。

对于上部滑坡体堆积层,每次折减某一参数值,比如分别折减内摩擦角 φ、粘聚力 c、体积重度 γ,弹性量 E、泊松比 ν等,取定岩体的其他特征参数值,从而进行岩性参数对安全系数的影响程度分析。同理,下卧基岩岩性参数的影响度也由这种方法予以论证评价。

由图 2～4可以得出,内摩擦角及粘聚力对于安全系数的影响均可以拟合成一条直线,由 φ所拟合出的直线斜率要比由 c拟合出的线斜率大,说明内摩擦角 φ对于稳定系数的影响尤其大。

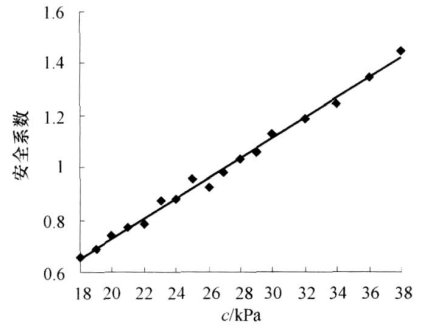


图 2 上覆层 c与 F_s 关系

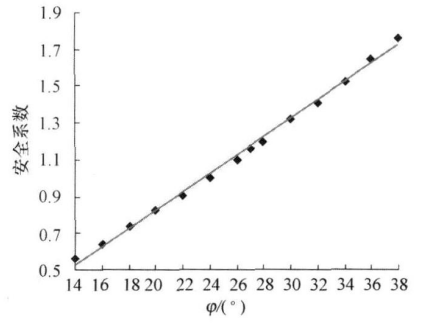


图 3 上覆层 φ与 F_s 关系

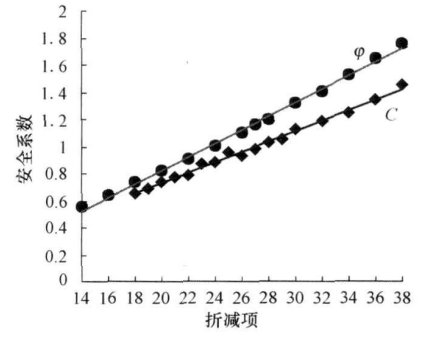


图 4 上覆层 c、φ与 F_s 关系

图 5为岩体体积重度对于安全系数的影响关系。对于上覆层,随着重度的增加,安全系数降低;而对于下卧基岩,则是随着重度的增加安全系数 F_s 呈现小梯度的增长。

图 6为 E与安全系数 F_s 之间的关系。对于上覆层,随着 E值的增长 F_s 呈现增长趋势,在 E的较小值端增长率很高,之后渐缓;基岩的 E值增长所

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

引入的 F_s 变化是近抛物线趋势，F_s 先有小幅增长，随后抛物型下降，幅度要比上覆层引起的变化小。

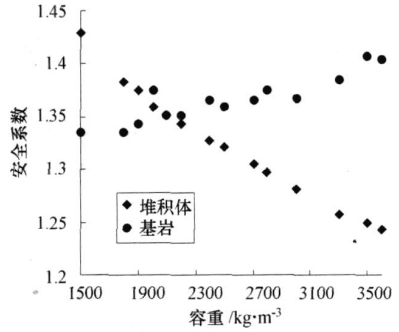


图 5 γ与 F_s 关系

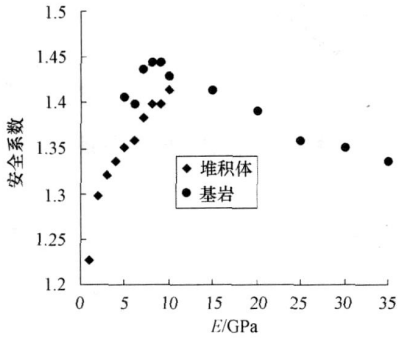


图 6 E与 F_s 关系

图 7为 ν与 F_s 之间的关系。上覆层泊松比变化引入的 F_s 变化有一定的离散性，剔除个别不好的点，仍然可以看出 F_s 曲线的走势与正切曲线相类似，与五次曲线的一部分曲线拟合较好；折减基岩的泊松比 ν之后的曲线也可以拟合成五次曲线的一部分。

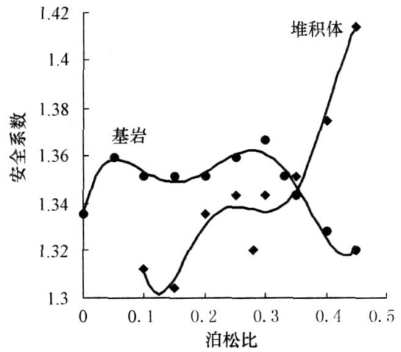


图 7 ν与 F_s 关系

图 8为各个参数变化率与安全系数 F_s 变化率之间的关系。由图中我们可以看出上覆层的内摩擦角 φ与粘聚力 c对安全系数的影响最大；上覆层的弹性模量 E、重度 γ对于 F_s 也有一定的影响，但是影响程度不如 φ、c大；上覆层岩体的泊松比 ν对于 F_s 影响相对较小。随着基岩的特性参数 E、ν的增

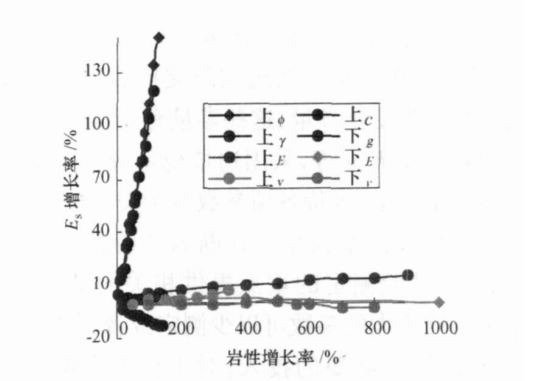


图 8 岩性参数增长率与安全系数增长率之间关系图

长，F_s 值会有所降低，γ增长 F_s 略增，而基岩的 C、φ并不影响整体边坡的稳定性。

3 结论

根据计算结果 (表 1)，所列举的各项岩体参数指标对安全系数的影响程度可以作为现场勘测的简化依据，对于有上覆层的类似均质边坡问题，要得到自然边坡的稳定性，重要的参数指标是上覆层的内摩擦角 φ、粘聚力 c、重度 γ的测定，下卧基岩等其他参数可以不集中作现场测定，依据经验取值即可。

表 1 岩性参数变化与安全系数变化率之间的关系表

影响程度 (由大到小)	岩体特性参数	安全系数变化率与岩性参数变化方向
1	上覆层内摩擦角 φ	一致
2	上覆层粘聚力 c	一致
3	上覆层体积重度 γ	相反
4	上覆层弹性模量 E	一致
5	上覆层泊松比 ν	一致
6	下卧基岩弹性模量 E	相反
7	下卧基岩泊松比 ν	相反
8	下卧基岩体积重度 γ	一致
9	下卧基岩内摩擦角 φ	安全系数无变化
10	下卧基岩粘聚力 c	安全系数无变化

参 考 文 献

[1] 谭文辉，王家臣，刘伟. 边坡稳定性分析方法的探讨 [J]. 露天采煤技术，1998 ( ): 21 - 23.

[2] 张天宝. 土坡稳定分析和土工建筑物的边坡设计 [M]. 成都：成都科技大学出版社，1987.

[3] 王培高，张华. 川藏公路 102滑坡群形成机制及其稳定性分析 [J]. 公路，2001 (12期): 7～11.

[4] 王子昆，黄上恒. 弹性力学 [M]. 西安：西安交通大学出版社，1994, 144 - 206.

第一作者通讯地址：西安沣惠南路 20号华晶广场 A座十层 中交第一公路勘察设计研究院岩土公司 **邮编**：710075

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net