桂柳一级公路 K250 段滑坡剪出口的力学判定

肖明贵 包惠明 方宗正

(桂林工学院勘察设计研究院, 541004)

摘 要 建立了明确的定量评价滑坡剪出口的力学模型。当从抗滑段开始选取的 若干计算垂直的抗滑稳定系数 K≤1 时,对应的平面或圆弧面与地面相交所形成的 范围为剪出带范围,各计算垂直面中最小的 K 值所对应的剪切面为最危险的剪出 面。

关键词 滑坡; 剪出口; 力学模型; 公路; 桂林; 柳州

分类号 P642 22

桂柳一级公路石城坪滑坡处于地质构造强烈发育区,因在坡脚开挖路堑引起该古滑坡 部分重新活动,滑坡体岩土由第四纪坡积物和中泥盆统信都组(D2x)粉砂岩、泥岩、页 岩组成。由于组成滑坡的物质成分复杂,边界条件不规则、地下水位等因素的多变,该滑 坡的失稳最先不是整体下滑,而是在边坡最薄弱的部位、滑动阻力最少部位、下滑力最集 中部位形成局部滑移,在下滑惯性力作用下,滑坡整体下滑、蠕动,在剪出口形成较大隆 起。由于剪出口是抗滑段,分析剪出口的形成条件和剪出口范围,对整个滑坡稳定性计 算、下滑推力计算、防治措施选择和治理设计具有重要的意义。

1 滑坡基本概况

1. 1 滑坡规模

老滑坡南部、北部及西侧以冲沟为边界,东侧以后缘山体陡坎为界,南北宽约 250m, 东西长约 280m,面积约 0.07km²,滑坡体厚 6~26m,体积约 50~60 万 m³,老滑坡前缘 处于相对稳定状态。新滑坡南北约 150m,东西长 130m,滑坡前缘为公路路堑,后缘与老 滑坡部分重合,面积约 0.02km²,体积 25~30 万 m³。

滑坡工程地质图及滑坡地质剖面图见本期《桂柳一级公路 K 250 段边坡变形原因及加 固措施》一文。

1. 2 滑坡物质组成

滑体物体从上到下主要由残坡积碎石土、风化粉砂岩 $(D_2 x)$ 和强风化泥页岩组成。 碎石土、风化砂岩裂隙发育,呈碎块状,透水性好,滑体土平均湿密度 $P_0 = 2.0$ g/cm³。

滑带土主要为全风化页岩形成的残坡积粘土组成。其物理力学性质指标如下: 含水量 $w = 12\% \sim 48\%$, 湿密度 $\rho_0 = 1.74 \sim 2.13$ g/cm³, 孔隙比 $e = 0.860 \sim 1.339$, 塑性指数 $I_P = 9 \sim 19$, 液性指数 $I_L = 0 \sim 1.11$; 原状土饱水快剪强度指标 $\bar{c} = 18$ kPa, $\varphi = 28.4^\circ$; 原状 土多次剪强度指标 $\bar{c} = 12.5$ kPa, $\varphi = 20.7^\circ$; 重塑土多次剪 $\bar{c} = 10$ kPa, $\varphi = 2.8^\circ$.

1997年3月1日收稿,4月6日改回。

[?]第ን9年者简介C肖明贵Ac男de1964 新出告al硬本c证程师 P.正猜地质恒计算机专业11 rights reserved. http://www

滑床主要由强风化页岩组成,其物理力学性质指标为 \overline{w} = 25.9%,湿密度 P= 1.94g/cm³,ē=0.789;原状土饱和快剪 \overline{c} = 38.8kPa, φ = 24.1°;原状土多次快剪 \overline{c} = 20.6kPa, φ = 22.6°;重塑土多次剪 \overline{c} = 8kPa, φ = 21.5°。

剪出口物质主要为强风化的页岩和全风化页岩形成的粘土。公路路基位于剪出口。 1. 3 成因机理

由于组成滑坡的岩土体为上硬下软,上部岩体节理裂隙发育,透水性好,下部岩体为 软质页岩相对隔水,加之该区雨量充沛,年平均降雨量达2180.9mm/a,为水岩作用提供 了丰富的水源。水使页岩软化强度降低,在动静水压力作用下,滑体沿软化的强风化页岩 面滑移。

1. 4 剪出口地质判定

该滑坡一直在蠕动下滑,尚未完全剪出破坏,路堑至坡脚地段为古滑坡抗滑段,由于 路基开挖时堆土反压,抗滑能力增强,地表无明显变形迹象,新滑坡沿古滑坡剪出口剪出 破坏可能性较小。在公路路基处,路基开挖,降低了该处抗滑能力,形成相对簿弱部位, 因而该处形成了较大的隆起变形,为新滑坡可能剪出口。该处的泥页岩已风化成土,其最 终破坏按土体破坏原理有两种可能:一是沿一定剪切平面剪出破坏,二是沿圆弧曲面剪出 破坏。

2 剪出口力学模型及判别方法

2.1 剪出口判别的力学模型

滑坡剪出带的形成条件实际上就是主 滑推力沿最小阻滑面剪切滑移的力学条 件。最先的剪出口因剪出隆起,阻力增 加,又形成新的最小阻滑面。根据静力平 衡条件可简化为如下模型(图 1), n-n['] 为抗滑段剩余下滑力(或下滑力)计算平 面。

p-计算平面处剩余下滑力或下滑力, kN; $\alpha-p$ 与水平面夹角([°]); $\beta-$ 可能剪 出面与水平面的夹角([°]); W-可能形成 剪出面与 n-n'面和地面所形成的土体 重力, kN; 1-可能剪切面的剪切长度, m; c-可能剪切面的岩土体的平均内聚





力,*kPa*; ⁹一可能剪切面的岩土平均内摩擦角()。

剪出口产生条件实际上就是满足该模型的极限力学平衡条件。

2.2 剪出口形成力学条件及判别公式

剪出口的形成实际上就是剪切面上的剪应力小于抗剪力, 剪切面上的抗剪力为:

 $p \cos (90 - \alpha - \beta) \circ tg \varphi + c \circ l + W \cos\beta tg \varphi + W \sin\beta$

剪切力为: $p sin (90-\alpha-\beta)$

剪切面剪切滑移的力学条件为:

 $p \cos (90 - \alpha - \beta) \circ tg \varphi + c \circ I + W \cos \beta tg \varphi + W \sin \beta \le p \sin (90 - \alpha - \beta)$ $\Leftrightarrow_{1994-201} \left[p \cos (90 - \alpha - \beta) \circ tg \varphi + c \circ I + W \cos \beta tg \varphi + W \sin \beta \right] / p \sin (90 - \alpha - \beta)$

http://www

K 为β 的函数。计算不同β 角所应的K 值 (K< 1), K 值最小者所对应的β 角为 n-n' 计算位置处的最可能剪出面。

2.3 剪出口范围的判定

滑坡在下滑推力作用下,因抗滑段的阻挡作用或因局部剪切滑移后应力重新调整,在 抗滑段都有可能满足剪出面力学平衡条件,产生剪出。从抗滑每开始按一定间距选取若干 计算垂直面 n-n',计算该面处由下滑段传递到该处的下滑推力。假定一个 β 角,计算 *K* 值, *K* 为β 的函数, *K*≤1 所对应的 β 角所划定的范围即为n-n'处所对应的剪切范围。 *K* 最小值所对应的β 角划定的平面为n-n'处最可能产生剪切的剪切面。在抗滑段移动计 算平面 n-n',按同样的计算公式和判别方法进行计算和判别,所有 *K*≤1 所对应的 n-n'面及β 角所对应的区域为可能的剪出范围。因此选择各个 n-n'面中*K* 值的最小值所对 应的剪切面为该滑坡最危险剪出面。

2.4 剪出面为曲面时的力学判别

该滑坡抗滑段主要为泥页岩—风化残积 粘土,具有较好的均匀性,其剪出滑移面可 能为曲面。这种曲面可用圆弧面来代替,其 力学条件见图 2。

p-作用在 n-n'面上的剩余下滑力, (kN) (或下滑力); $\alpha-p$ 与水平面的夹角 (°); β_i 一第 i 块土条中心切线倾角; l_i 一第 i 条块的剪切园弧长度, m; W一滑移体总 重力, kN; W_i 一第 i 条块土体重力, kN。

在静力条件下,用条分法按静力平衡条件计算在自重作用力和剩余下滑力联合作用下,各土条在滑面上产生的滑动力和抗滑力, 求得滑移体抗滑稳定系数 *K*:



图 2 曲面剪出力学模型示意图



根据各土条总的抗滑力矩和滑动力矩之比,

 $K = \frac{\sum c l_i + \operatorname{tg} \varphi \left[\sum W_i \cos\beta_i + (p/W) \circ (\sum W_i \cos\alpha \sin\beta_i + \sum W_i \sin\alpha \cos\beta_i) \right]}{(p/W) \circ (\sum W_i \cos\alpha \cos\beta_i - \sum W_i \sin\alpha \sin\beta_i) - \sum W_i \sin\beta_i}$

当 *K*≪1 时则为可能的滑动曲面。*K* 值最小的圆弧为最有可能形成的圆弧型剪出曲面。

具体计算时,先假设为平面滑移,求出平面极限滑移面起点位置和滑移角,然后以平面滑移面与地面交点处沿地面前后(与n-n'相对而言)两方向以一定距离确定圆弧滑面可能出露点,以该出露点和平面滑移起点为圆弧的起始点,并以不同半径作圆弧,分别求出不同圆弧半径条件下的稳定性系数K,其最小的K值(记为K')即为该起点的可能滑动圆弧面。以同类的方法和步骤,分别求出其它起始点最小值。所有起点中K'值的最小值所对应的圆弧就是最可能滑移曲面。所有 $K \leq 1$ 所对应的圆弧与地面的交线范围即为剪出带范围。

2.5 计算结果

根据上述方法,剪出带土采用原状土多次剪抗剪强度指标 c=20 kPa, $\varphi=22^{\circ}$,对 3 个剖面进行了计算,其结果见表 1。

通过计算确定的剪出范围与按现场实际情况作出的地质数据和变形观测一致。

Table 1

表 1

3 结 论

(1)为石城坪滑坡找到了确定最
危险剪出面的方法,为滑移稳定性计
算提供了依据。

(2)为治理设计(削坡)提供了 确定最危险剪出面的办法。

(3) 对同类滑坡的稳定性计算有重要的参考作用。

(4) 该方法是建立在弹性条件下的计算判别方法,而土体为弹塑体,计算结果有一定的误差,有待进一步改进。

(5) 该滑坡剪出口计算时未考虑剪出面地震力及孔隙水压力的作用。

(6) 该方法也适用于次级滑动面引起的局部剪切计算。

DISCRIMINATING MECHANISM OF SHEAR OPENING OF LANDSLIDE IN AREA K250 OF THE FIRST-ORDER GUILIN-LIUZHOU HIGHWAY

Xiao Minggui Bao Huiming Fang Zongzheng

(Research Institute of Engineering Survey and Design, Guilin Institute of Technology)

Abstract Quantitative assessment of the mechanical model of shearing opening of landslide is clearly set up. When the landslide—resistant stable coefficient $K \leq 1$ on the condition of calculating some the vertical planes given from the landslide—resistant area, the scope of the shearing opening zone is the corresponding plane or the arc plane and the shear plane corresponding to the minimum K value on the condition of calculating the vertical planes is the most dangerous shearing opening plane.

Key words landslide; shear opening; mechanical model; hightway; Guilin; Liuzhou

平面模型计算 圆弧模型计算 剖面号 K (最小值) 剪切带长度/m K (最小值) 剪切带长度/m I - I0.77 16.5 0.79 15 8 II - II0.79 15.3 0.82 14.9 III-III 0.83 12.1 0.84 13.6

滑坡稳定性计算结果

The calculated result of stability of landslide