

甬台温高速公路苍南段路堑边坡稳定性评价

阎长虹¹, 许宝田¹, 许 崧¹, 顾凤祥²

(1. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093; 2. 江苏苏州工程地质勘察院, 江苏 苏州 215008)

摘要:以优势面理论作为基本指导思想, 采用了野外观测和室内实验、地质分析和力学计算相结合的方法, 对甬台温高速公路苍南段路堑边坡体的工程地质、水文地质特征进行调查分析, 在地质分析的基础上建立边坡物理模型, 采用专门计算程序进行稳定性计算和评价, 并给出路堑边坡处理建议方案。

关键词:路堑; 边坡稳定; 优势面; 高等级公路

中图分类号: TU433

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2001)07-0008-03

甬台温高速公路苍南段位于浙江省苍南县境内, 是连接北京到福州高速公路主干线的重要交通枢纽。该路段属低山丘陵区, 地质条件复杂, 尤其是 K73~K79 区间的 6 个路段, 基岩山坡在工程施工中需要进行开挖削坡处理, 其路堑边坡的稳定性对该路段的顺利施工和工程的安全运营至关重要。

本文以优势面理论作为基本指导思想, 采用野外观测和室内实验、地质分析和力学计算相结合的方法, 在查明场区边坡体的工程地质、水文地质条件的基础上, 建立边坡物理模型, 采用专门计算程序进行稳定性计算和评价, 最后给出路堑边坡的处理建议方案。

1 场区地质地貌特征

甬台温高速公路苍南段路堑边坡均位于山体的坡脚或斜坡上, 地形起伏, 第四系松散沉积物覆盖层厚度变化较大, 成分为粉质粘土、砂质粘土以及残坡积碎石土。山体基岩露头少, 差异风化强烈。路堑边坡岩体主要由第四系覆盖层松散沉积物与侏罗系火山碎屑沉积岩构成。

苍南段路堑边坡共有 6 段, 本文以 GK77+510~GK77+720 路堑边坡为例。该路堑边坡位于灵溪镇坑源村与北山下村之间的北头山南坡, 长约 200 m, 走向北东。路堑区属山前坡地, 坡脚处有河流分布。北头山海拔标高 104.84 m, 边坡高差约 16.5 m, 坡面起伏不平, 坡度一般小于 45°。路堑段地层由残坡积粘土、块石和侏罗系磨石山组 C 段凝灰角砾岩组

成, 差异风化强烈, 风化层厚, 地层产状不明。

根据路堑区地层岩性、风化程度、弹性纵波速度及其物理力学性质, 将岩土体分为四个工程地质层, 自地表向下依次为: ①上部为深黑色块石土, 含碎石粘土、块石等, 硬质块石为凝灰角砾岩, 岩石裂隙中充填有粘性土; 下部为灰黄色亚粘土, 硬至软塑, 含少量残积粗砂; ②全风化凝灰角砾岩, 原岩的角砾状结构仍很明显, 含少量碎石; ③灰黄色强风化凝灰角砾岩, 节理裂隙发育, 裂隙中充填有较多的粘土, 差异风化明显, 大多碎裂成块状; ④弱风化至微风化凝灰角砾岩, 弱风化凝灰角砾岩为浅灰色, 节理裂隙发育, 裂隙内充填有褐铁矿, 微风化凝灰角砾岩深灰色, 节理裂隙发育, 无充填物。

路堑段主要发育有两组优势裂隙: ①第一组走向 32°, 倾向 SE, 倾角 85°; ②第二组走向 330°~335°, 倾向 SW, 倾角 80°~85°。

裂隙面产状较陡的均呈闭合状, 产状较缓的裂隙张开度较大。第一组裂隙面为顺坡向, 在 GK77+200 附近发现有自然滑动土坡, 其滑动面就是顺坡向断裂面, 坡脚凝灰角砾岩裂隙中有少量基岩裂隙水渗出。

从现场调查来看, 大部分边坡失稳是沿松散沉积物与岩体之间的分界面发生滑动, 因此该界面为潜在的滑动面; 其次是下伏基岩, 为侏罗系磨石山组凝灰角砾岩或晶屑凝灰角砾岩, 岩体强度大, 节理发育, 场区发现的小型滑坡体大多沿顺坡节理面滑动。因此, 这些节理面成为控制岩土体稳定性的优势结

基金项目: 教育部青年教师资助项目(教技司[2000]143 号)

作者简介: 阎长虹(1959—), 男, 江苏徐州人, 博士, 教授, 主要从事水文地质、工程地质与环境岩土工程研究。

构面,优势面的组合构成了控制岩土体变形的边界和岩体变形的破坏模式.边坡破坏模式的确定为边坡物理模型的建立提供了依据.

2 路堑边坡稳定性评价

2.1 坡变形机理分析

从野外地质调查情况来看,甬台温高速公路苍南段的 GK77+510~GK77+720 等路段,目前的自然边坡稳定性除对务山发生滑动外,其它几段的边坡处于稳定状态.在筑路开挖路堑时将会使路堑边坡岩土体的平衡遭到破坏,产生边坡滑动变形.从现场的地质调查和分析来看,该路段边坡破坏主要有两种形式:一是滑动,主要是山坡上的第四系覆盖层沿其与基岩的交界面发生滑动和岩体沿同倾缓倾角的裂隙面发生滑动;二是崩塌,主要由一些与边坡同倾的陡倾角裂隙面组合切割构成分离体而发生非滑动型的变形.当然该路段边坡滑动的原因是多方面,即多重机制产生的边坡岩体破坏,如削切坡脚、水的渗透作用、爆破等.

2.2 坡岩土体力学参数

第四系土体抗剪强度参数和岩石样品抗剪强度实验结果见表 1.

表 1 抗剪强度试验结果

岩土体特征	标准贯入试验锤击数	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
灰黄、土黄色亚粘土,硬塑~软塑	15	10.0~20.0	20
棕红色亚粘土、硬塑~软塑	30~36	16.0~28.0	20~26.5
灰白、棕红色砾砂~全风化凝灰角砾岩	30	20.0	28~36.5
中~强风化凝灰角砾岩中节理面		60~120	30~34

2.3 边坡稳定性计算方法

根据甬台温高速公路路堑边坡的工程地质特征和滑动特点,我们选用适应性强、评价准确性高的 Sarma 法、推力法和概率统计法对这些边坡稳定性进行了分析评价.

2.3.1 Sarma 法

Sarma 法是目前边坡稳定性评价中一种较好的极限平衡方法.该方法认为岩坡滑动首先是岩体破坏成为多块可相对滑动的块体之后才可能发生滑动.这一方法不仅考虑了滑动面上的剪力平衡,同时也考虑了滑体内部的剪力平衡. Sarma 法也是一种条分法,但条分的边界可以垂直也可以倾斜.假想在每一土条重心作用着一个水平地震惯性力 $K_c W_i$,由于它的作用,使滑裂面恰好达到极限平衡状态,也就是使滑裂面上的稳定安全系数 $F_s = 1$,在进行计算

时,可以不用试算或迭代,使计算工作量大为减轻.而以 K_c 作为判断土坡稳定性的一个标准.同时 Sarma 法还在假想沿两相邻土条底面的斜面处于极限平衡状态这个前提下,推导出切向条块间剪力 X 的分布,从而使超静定问题变为静定问题.因此,这一方法完全适应于该边坡的稳定性计算.

考虑路堑边坡的工程地质条件和岩体结构特征,在条块划分时遵循以下原则:①滑动面的转折点作为条块与滑动面的交点;②结构面可以为条块的边界;③尽量使每一个条块的岩性一致;④尽量使每一个条块的岩体结构类型一致.计算公式如下:

$$K_c = \frac{a_n + a_{n-1}e_n + a_{n-2}e_n e_{n-1} + \cdots + a_1 e_n e_{n-1} \cdots e_3 e_2}{p_n + p_{n-1}e_n + p_{n-2}e_n e_{n-1} + \cdots + p_1 e_n e_{n-1} \cdots e_3 e_2}$$

$$\text{其中: } a_i = [W_i \sin(\varphi_i - \alpha_i) + R_i \cos \alpha'_i + S_i + \sin(\varphi'_i - \alpha_i - \delta_{i+1}) - S_i \sin(\varphi'_i - \alpha_i - \delta_i)] / \cos(\varphi'_i - \alpha_i + \bar{\varphi}_{i+1} - \delta_{i+1})$$

$$p_i = \frac{W_i \cos(\varphi'_i - \alpha_i)}{\cos(\varphi'_i - \alpha_i + \bar{\varphi}_{i+1} - \delta_{i+1}) \sec \bar{\varphi}_{i+1}}$$

$$R_i = c'_i b_i \sec \alpha_i - U_i \tan \varphi'_i$$

$$e_i = \frac{\cos(\varphi'_i - \alpha_i + \bar{\varphi}_i + \delta_i) \sec \bar{\varphi}_i}{\cos(\varphi'_i - \alpha_i + \bar{\varphi}_{i+1} - \delta_{i+1}) \sec \bar{\varphi}_{i+1}}$$

$$S_i = \bar{c}_i d_i - p_{wi} \tan \bar{\varphi}_i$$

式中: K_c 为临界地震系数; α_i 为滑动面倾角; b_i 为滑动面水平距离; U_i 为滑动面上的水压力; $\bar{\varphi}_i, \bar{c}_i$ 为侧边平均抗剪强度参数; φ'_i, c'_i 为侧边平均抗剪强度参数; p_{wi} 为侧面上的水压力.

2.3.2 推力法

该方法假设岩坡滑动面为一不规则的折线,滑动面的转折点作为分条的界线点,分条的边界垂直.条间里的合力与上一土条的底面相互平行,根据力的平衡条件,逐条向下推求,直至最后一条土条的推力为零为止.从而计算滑体平行于滑动面的向外推力 E_0 :

$$E_i = KQ_i - fQ_i \cos \alpha_i - c_i l_i + \psi E_{i-1}$$

式中: E_i, E_{i-1} 分别为第 i 块和第 $i-1$ 块滑体剩余下滑力, kN/m ; Q_i 为第 i 块滑体的重量, kN/m ; c_i 为第 i 块滑体滑动面的粘聚力, kPa .

2.3.3 概率法

根据优势面理论的基本思路,在评价中采用地质、数学和力学密切结合的观点,由此建立一些重要的评价原则和概念,使对问题的认识既符合地质实际,又能向量化不断发展.

优势面理论认为用概率论法进行稳定性评价是一个合理的方向.我们用滑动面上的抗剪强度 τ_f 与计算的剪应力 τ 的差 ρ 来衡量边坡的稳定性,即

$$\rho = \tau_f + \Delta \tau_f - (\tau + \Delta \tau)$$

表2 安全系数与下推力

方案	安全系数 F				下推力 $E/(kN \cdot m^{-1})$			
	不考虑地下水作用		考虑地下水作用		不考虑地下水作用		考虑地下水作用	
	$K_c = 0$	$K_c = 0.15$	$K_c = 0$	$K_c = 0.15$	$K_c = 0$	$K_c = 0.15$	$K_c = 0$	$K_c = 0.15$
一	0.9	0.67	0.86	0.64	99.04	118.94	98.24	119.55
二	0.9	0.66	0.87	0.65	99.16	125.41	93.57	128.87
三	1.04	0.80	1.01	0.78	74.0	111.61	76.92	114.11

则边坡破坏概率为

$$P_f = p(\rho < 0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^0 f(\rho | \bar{\tau}^*) f(\bar{\tau}^*) d\rho d\bar{\tau}^*$$

式中: $\bar{\tau}^*$ 为潜在破坏面的平均抗剪强度。

2.4 路堑稳定性评价

仅就 GK77+510~GK77+720 路堑边坡的稳定性作一评价。路堑 GK77+510~GK77+720 长 400m, 走向为北东, 边坡高差约 13m。

路堑段地层由残坡积土侏罗系磨石山组 C 段凝灰角砾岩组成, 上部为残坡积碎石土及全风化层, 厚度 2.5~20.5m。下部为强风化、中风化、弱风化至微风化凝灰角砾岩, 强度大。路堑段主要发育有两组节理裂隙: 第一组走向 32°, SE/60°~85°, 第二组走向 330°~335°, SW/80°~85°, 裂隙面产状较陡的均呈闭合状。第一组裂隙面为顺坡向, 其缓倾角面构成滑动面。

该路堑边坡的变形破坏模式主要为楔形体滑动、崩塌破坏、第四系覆盖层沿其与基岩之界面发生滑动。计算剖面如图 1 所示。

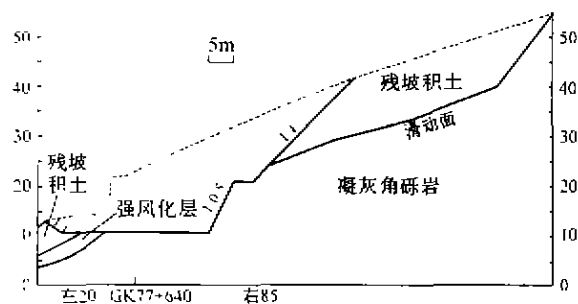


图1 GK77+510~GK77+720 路堑计算剖面

计算剖面削坡选用 3 种方案: ①下部中等风化~弱风化岩体采用坡比 1:0.5, 10m 处设一 3~4m 宽的平台, 上部残积土或全风化岩体采用 1:1 坡比; ②采用 1:1 削坡; ③下部中等风化~弱风化岩体采用坡比 1:0.5, 10m 处设一 3~4m 宽的平台, 上部残积土或全风化岩体采用 1:1.5 坡比。三个方案侧边和滑动面计算参数选均用: $c = 24 \sim 28 \text{ kPa}$; $\varphi = 12^\circ \sim 15.5^\circ$ 。

从表 2 计算结果来看, 第一和第二开挖方案安全系数小, 其下推力大, 路堑边坡处于不稳定性状态。采用第三开挖方案时, 当干坡时边坡处于稳定状态, 在有水和地震力作用时, 边坡处于不稳定状态。

K77+640 路堑宜采用第三开挖方案, 同时边坡需进行支护处理。

3 边坡的防治与处理意见

甬台温高速公路苍南段的 GK77+510~GK77+720 等路段的路堑边坡治理可采用以下方案:

a. 路堑边坡总的治理: 路堑放坡, 上、下拟采用不同的坡比。上部第四系覆盖层和全风化~强风化凝灰角砾岩层, 坡比拟采用 1:1~1:1.5, 下部为中~微风化凝灰角砾岩层, 岩体坚硬, 坡比拟采用 1:0.5~1:0.75。上、下部之间增加宽 3~4m 的马道, 设置排水沟。

b. 路堑边坡上部第四系覆盖层、全风化、强风化基岩修筑挡墙, 设置排水孔。

c. 路堑边坡下部中风化、微风化的基岩坡面采用护坡方案, 设置排水孔。对有楔形体滑动、崩塌破坏处要增加锚杆固定。

d. 在边坡顶部设置排水沟, 防止降水入渗, 减小孔隙水压力。

e. 对两侧由土体或全风化的岩体构成的中低坡高边坡拟修筑挡土墙, 注意设置排水孔。

对于主要由土体或全风化的岩体构成、坡高较低的路堑边坡的治理拟采用: 下部 1:1 坡比放坡, 并修筑挡墙, 注意设置排水孔; 上部 1:1.5 坡比放坡, 并进行护坡处理, 顶部设置排水沟。

(收稿日期: 2001-08-10 编辑: 熊水斌)

