

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.02.036

基于 MIDAS/GTS 的黄土边坡稳定性 分析方法及应用

张志沛,高旭和

(西安科技大学 地质与环境学院,陕西 西安 710054)

摘 要: 针对凉泉隧道出口处上部黄土的稳定性和是否需要削方减载的问题,利用 MIDAS/GTS 对可能存在潜在滑动面的高边坡进行数值模拟。建立边坡的二维数值模型,并对其计算分析,力求结果接近真实情况。再采用强度折减、极限平衡折线型滑动面和极限平衡圆弧型滑动面三种边坡强度分析理论,对二维边坡进行模拟,得到边坡的应力应变危险部位和潜在滑动面位置以及边坡整体稳定系数。由此确定边坡的剪出位置以及相对薄弱带,客观反映边坡稳定性,为工程治理提供依据和参考。

关键词: MIDAS/GTS 软件;边坡;数值模拟;强度分析理论;稳定系数

中图分类号: TU94+3.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)02-0182-03

Loess Slope Stability Analysis Method Based on MIDAS/GTS and Applications

ZHANG Zhipai, GAO Xuhe

(Xian University of Science and Technology College of Geology & Environment, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Focusing on the problem of the upper loess stability at the exit of Liangquan tunnel and whether the cutting earthwork should reduce load or not, this research adopted Midas/GTS to develop a numerical simulation model. A two-dimensional numerical model of was developed, verified and tested. Three kinds of strength analysis theory of slope, strength reduction, limit equilibrium again bent sliding surface and limit equilibrium circular sliding surface were adopted to get the maximum slope shear strain, the region and the value of maximum shear stress in size and overall stability coefficient of slope. And finally it confirmed the slope of weak zone and the cut out position, which could reflect the slope stability objectively, and provide the cut square lightening basis and the reference.

Keywords: MIDAS/GTS; slope; numerical simulation; the strength analysis theory; stability factor

边坡稳定性分析是边坡设计的依据和前提,它决定着边坡是否稳定以及边坡所能承受的最大推力,以便为支护结构的设计参数提供合理依据^[1-4]。然而目前边坡的稳定性还不能完全准确地进行分析和计算,因为解决这个问题必须先要查清坡体的工程地质现状及物理力学参数,同时还要有精确合理的分析方法。目前,主要有两种边坡稳定性分析方法;一种是强度折减法(以有限元法为代表的数值计算),另一种是极限平衡法(建立在刚体极限平衡理论上)^[4-9]。本文尝试将上述两类方法进行比较并用于边坡稳定性分析^[10-11]。首先是极限平衡法,

模拟计算边坡岩土体内的应力应变以及位移分布,得出与之相对应的稳定系数。其次和极限平衡方法相似,假设出一组不同的滑动面,搜索找出最危险滑动面对应的稳定系数^[12-13]。此方法优点在于:一方面满足工程界评价边坡稳定性时能够熟悉运用单一稳定系数评价,另一方面满足科学讨论分析边坡稳定与岩土体变形之间的定量关系。

1 工程地质概况

凉泉隧道是拟建西宝改扩建高速公路上的一座分离式隧道。隧道起讫里程桩号左线: ZK315 +

185—ZK315 + 662, 长约 477 m; 右线: YK315 + 216—YK315 + 662, 长约 446 m, 隧道最大埋深约 70.0 m, 左线属中隧道, 右线属短隧道, 两洞中轴线最大间距约 43 m, 隧道总体走向约 275°。凉泉隧道斜穿一条凸出黄土梁, 进口端斜坡较缓, 约 21°~25°, 出口端坡度稍陡, 约 28°~32°。坡面多陡坎。梁顶为农田, 进口斜坡上为农田, 出口斜坡上为果园。隧道轴线地面标高 640.6 m~779.8 m 之间, 相对高差约 139.2 m。隧道洞室最大埋深 70 m。隧址出口发育一巨型滑坡边坡, 边坡在天然状态和饱水状态下均处于稳定状态。根据滑坡体现状, 建议坡面进行退耕还林, 做好坡体绿化, 以求减少降雨和地表水对坡体冲刷破坏, 减少冲沟溯源侵蚀, 对滑坡体表面冲沟进行回填处理, 同时设置拦排水渠道。工程开挖, 尤其是在遇到强降雨的情况下, 滑坡体可能从局部剪出, 应根据实际工况再计算, 采取相应的防治措施。确保隧道运营安全。

2 边坡稳定性数值模拟分析

2.1 理论依据

强度折减法: 使边坡达到临界破坏状态时, 对岩土体的抗剪强度进行折减的程度, 就是定义安全系数为岩土体的实际抗剪强度与临界破坏时的折减后剪切强度的比值。强度折减法的核心是采用式(1)、式(2)来调整黏聚力和摩擦角, 即 C 和 ϕ (公式中, C_F 表示折减后的黏聚力, ϕ_F 是折减后的摩擦角, F_{trial} 为折减系数)。而后对边坡稳定性进行数值分析, 在折减系数不断地增加的基础上多次反复计算, 直至其达到临界破坏, 这时得到的折减系数就是安全系数 F_s 。即公式:

$$C_F = C/F_{\text{trial}} \quad (1)$$

$$\phi_F = \tan^{-1}(\tan\phi/F_{\text{trial}}) \quad (2)$$

极限平衡法: 一般根据作用于岩土体中潜在破坏面上块体沿破坏面的抗剪力与该块体沿破坏面的剪切力之比, 得到该块体的稳定性系数。基于极限平衡法原理的边坡稳定计算分析有多种方法, 根据适用条件的不同, 主要包括毕西奥普 (Bishop) 法、摩根斯坦 - 普瑞斯 (Morgenstern - Price) 法、萨尔玛 (Sarima) 法、推力法、简布 (Janbu) 法等。

2.2 边坡模拟设计方案

根据黄土湿陷性计算评价结果, 场地属自重湿陷场地, 地基土湿陷等级为 II 级 (中等), 该类土体受

水浸湿后, 土的结构不易破坏, 可是在长时降雨或暴雨季节, 边坡易被破坏。这种特性易使隧道进出口边坡产生失稳现象。故应对湿陷性黄土采取严格截排水措施进行处理。利用 MIDAS/GTS 计算边坡在强度折减理论、极限平衡折线型滑面理论、极限平衡圆弧滑面理论下的应力应变、最危险滑动面位置和整体稳定系数^[14-15]。并且比较规范给出的不平衡推力法得到的治理后整体稳定系数, 讨论在既定条件和地质工程条件下数值模拟效果。

2.3 计算模型

根据研究的需要及多种资料所提供的数据, 本文设计模型沿纵向长为 1 m, 边坡滑移方向长为 140 m, 高度 70 m, 新黄土夹古土壤厚 15 m, 老黄土夹古土壤厚 55 m, 黄土状土滑移方向投影长度 75 m。设计模型如图 1 所示。

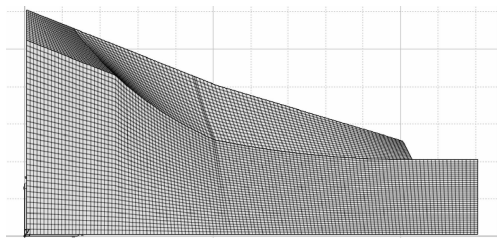


图 1 计算模型

设定如下模型边界约束条件:

① X 轴方向约束边界被定为模型的左右边界, 取 $u = 0$ 。 (u 是 X 方向, w 是 Z 方向位移, v 是 Y 方向位移); ② 模型底部边界和左边界被定为全约束边界, 取 $u = 0, v = 0, w = 0$; ③ Z 轴方向约束边界被定为模型的前后边界, 取 $w = 0$; ④ 模型上边界被定为自由边界, 不予约束。

模型的初始应力主要为路堤的自重应力。

2.4 物理力学参数的选取

通过对凉泉隧道右线出口段边坡治理地质补充勘探, 取得了科研所需的土体物理力学性质参数, 地基总共由五层土层组成, 从上到下、从左到右依次为新黄土夹古土壤、老黄土夹古土壤、黄土状土, 厚度分别为 15 m、55 m 和 50 m。

2.5 计算过程

在进行土层物理力学参数选取时, 以勘察报告所提供的数据为主, 同时把其它资料作为参考, 对于部分数据进行科学合理的换算, 争取达到与岩土体实际一致。各部分具体参数详见表 1。

表 1 各土层物理力学参数

层号	土层	厚度 /m	重度 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	泊松比 μ	弹性模量 /MPa	黏聚力 /kPa	摩擦角 /($^{\circ}$)
1	黄土状土		17.89	0.44	27.3	31.8	25.1
2	新黄土夹古土壤	10	15.28	0.44	29.5	24.5	20.3
4	老黄土夹古土壤	50	15.91	0.44	29.3	34.2	25.5

计算时,主要按强度折减理论、极限平衡折线型滑面理论、极限平衡圆弧形滑面理论考虑。具体按以下步骤进行:首先,选用 Mohr – Coulomb 本构模型,依据前述约束条件,在只考虑重力作用的情况下,进行弹塑性求解,计算至平衡后生成初始应力场。图 2~图 6 表示边坡在强度折减理论下数值模拟得到的部分位移及应力应变云图。

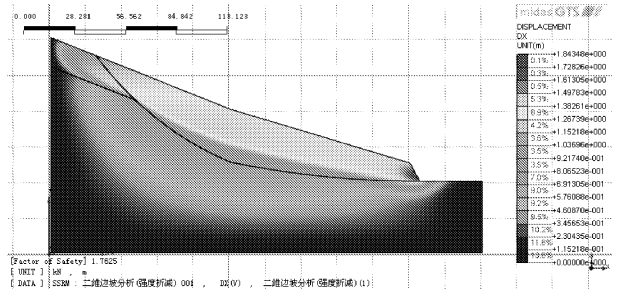


图 2 强度折减理论下 X 方向位移

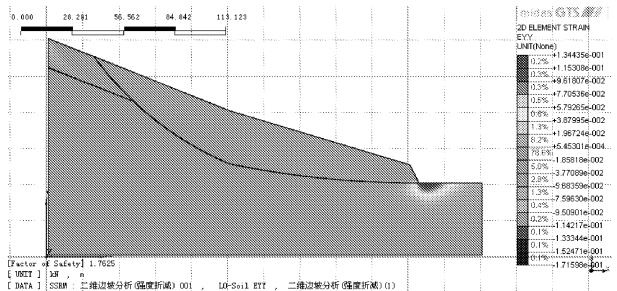


图 3 强度折减理论下 Y 方向应变

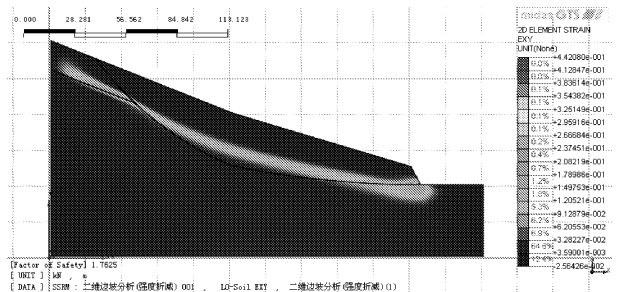


图 4 强度折减理论下 XY 方向应变

2.6 模拟结果分析

由图 2~图 6 结合极限平衡折线型滑面理论和极限平衡圆弧形滑面理论得到的相应云图初步明确各部分应力应变规律。依据水平方向位移及竖向位

移云图分析:由于受表层土体固结良好的影响,坡体新黄土土层位移较大;从应变云图分析:在黄土状土土层应变最大,但其应变顺坡向逐渐减小,滑动面可能在该处形成,该层对坡体稳定有一定威胁。从模拟结果和现场实际现象综合分析,可以推断该边坡在天然条件下总体处于稳定状态。

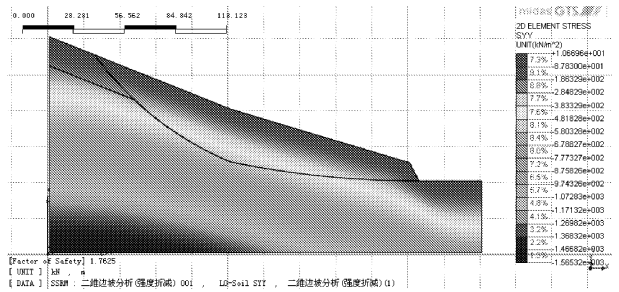


图 5 强度折减理论下 Y 向应力

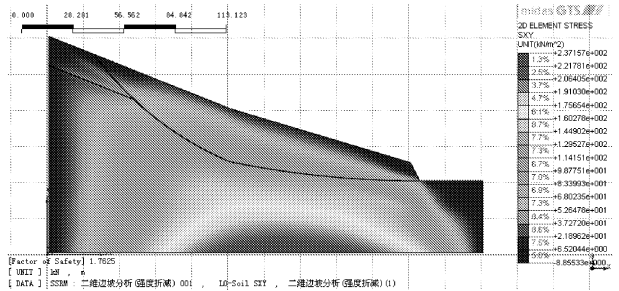


图 6 强度折减理论下 XY 方向整体剪切应力

2.7 数值模拟分析小结

模拟在强度折减理论、极限平衡折线型滑面理论、极限平衡圆弧形滑面理论条件下所得稳定系数分别为 1.7625、1.8423、1.9158。对比前期勘查资料根据规范给出的不平衡推力法计算所得治理后稳定系数 1.65,可判断在既定条件下文中数值模拟方法得到结果接近规范推荐方法计算得到的稳定系数,并且强度折减理论模拟所得稳定系数更趋于安全。

3 结 论

通过对凉泉隧道边坡不平衡推力法计算结果和数值分析结果的对比,可得出以下结论:

(下转第 217 页)