

公路土质边坡冻融失稳稳定性分析

刘红军^{1, 2}, 王丕祥²

(1. 中国地震局 工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 东北林业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 根据实际现场调查情况, 论述了土质边坡冻融失稳的主要原因及影响边坡冻融失稳的主要因素. 考虑了地下水的渗流作用, 建立了冻土边坡冻融失稳稳定性分析几何模型. 采用有效应力法, 分别把土和水的混合物当作研究对象和把土骨架作为研究对象, 得出二种方法在求季冻区土质边坡冻融失稳的稳定性系数时, 会得到一致的结果.

关键词: 季节性冻土; 边坡冻融失稳; 地下水渗流; 有效应力法

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 0367 - 6234(2006)05 - 0764 - 03

Stability analysis of loss of stability caused by freeze and melt of earthen side slopes of highways

LIU Hong-jun^{1,2}, WANG Pi-xiang²

(1. Engineering Mechanics Institute of China Seismological Bureau, Harbin 150080, China; 2. Civil Engineering College, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: Based on the investigation on the spot, the main reasons for freeze and melt related loss of stability of earthen side slopes and major relevant affecting factors are stated systematically. With the permeation of underground water taken into consideration, an analytical geometry model is established which concerns the stability analysis of freeze and melt related loss of stability of earthen side slopes. By means of effective stress method, the stability coefficients of the loss of stability of earthen side slopes in earth frame and the mixture of earth and water are studied respectively. The identical stability coefficients are obtained.

Key words: seasonal frozen area; loss of stability of side slope because of freeze and melt; permeation of underground water; effective stress method

公路土质边坡冻融失稳破坏是寒区公路工程建设中主要的病害之一, 虽然近几年来得到了相关部门的重视, 采取了一些治理措施及进行一定程度的研究, 但寒区公路土质边坡冻融失稳破坏还没有得到彻底根治.

由于边坡的冻融失稳与无冻土层边坡的失稳在形成机理及力学分析方法存在明显的不同^[1], 本文根据现场调查的实际情况, 提出季节性冻土区土质边坡冻融失稳稳定性的影响因素及稳定性的力学分析方法, 为今后季节性冻土区土质边坡的设计及防治提供参考依据.

1 公路土质边坡冻融失稳稳定性的影响因素

1.1 边坡的土质条件

通过现场调查, 细粒土组成的边坡较粗粒土组成的边坡更容易产生冻融失稳, 特别是粉土、粉质粘土中. 这是因为这类土具有较显著的毛细现象. 粘性土虽然没有粉土的毛细作用强, 但由于其含水量增加, 土体的强度指标明显降低, 因此, 也容易产生边坡的冻融失稳. 砂砾等粗颗粒土, 没有或具有很少量的结合水, 孔隙中自由水冻结后, 不会发生水分的迁移积聚, 同时由于砂砾的毛细现象不显著, 不会发生边坡的冻胀现象. 因此, 粗粒土组成的边坡较细粒土组成的边坡冻融稳定性

收稿日期: 2004 - 10 - 21

基金项目: 黑龙江省交通厅重点科技项目.

作者简介: 刘红军 (1970 -), 男, 博士研究生, 讲师.

更强.

1.2 地下水的影响

“十个边坡九个水”^[2],这句话形象地反映了边坡失稳往往与地下水的活动有密切相关这一客观事实.季冻区斜坡土体含水量增加的主要原因之一就是在斜坡土体冻结的过程中,地下水通过毛细作用等方式向冻结区迁移^[3],在冻结区内形成很厚的冰夹层.春季,冻结层首先从上部开始融化,融水在向下的渗透的过程中受到未融化层阻碍,造成融化层与冻结层接触部位含水量增加,土体强度降低,并产生地下水渗流^[4].地下水的渗流产生动水力,其方向往往与土体的滑动方向相同,这就增大了斜坡土体的下滑力,减少抗滑阻力.因此,滑动面常常位于融化层与冻结层的交接部位.

1.3 气候的影响

土质边坡冻融失稳受气候的影响,主要与年降雨量、年降雪量、气温下降速度等条件有关.降雨量大则地下水位升高,毛细作用加强,冻胀现象明显;降雪量较大,春季融化的积雪向地下渗透,造成斜坡土体的含水量的增加;气温骤降且冷却强度很大时,冻结速度很快,不易产生冻胀现象.

1.4 边坡坡度的影响

边坡的稳定性与边坡的几何尺寸密切相关,特别是受边坡的坡度影响更大.一般情况下边坡的坡度越缓,其稳定安全系数就越大.但是作为路堑边坡或路堤边坡坡度过缓,就会造成工程量的增加和过多地占有耕地及砍伐树木,这在经济上是很不合理的.

1.5 边坡朝向的影响^[5]

通过调查发现边坡冻融失稳多发生在背阳面.这是由于背阳面边坡冬季日照时间短,土体冻结时间长,冻深较大,春天来临气温升高,冻结层表面融化,土中富积融水较多,导致土体强度较低,产生的动水力较大.

1.6 春融期冻结层的存在

通过调查,边坡的热融失稳现象主要发生在春季冻土的融化期,其主要原因是由于边坡土体上部开始融化,但其下部土层仍然处于冻结状态,在冻融结合部形成润滑面.

2 季节性冻土斜坡稳定性计算的理论推导

对于季节性冻土边坡的失稳,其滑动的土体是沿着冻融接触面向下滑移的.在滑坡学中的分类属于浅层滑坡.其潜在滑动面平行斜坡面,且属

于平面滑动面类型.因此,斜坡滑动面的埋深与长度之比很小,一般属于无限斜坡类型.

对季节性冻土边坡的冻融失稳问题,决不能忽视地下水的渗流作用.下面根据调查的实际情况,采用有效应力分析法^[6],推导季节性冻土边坡冻融失稳稳定性分析方法.

边坡中存在地下水渗流时,在进行边坡稳定性分析时,首先需要解决的一个问题,就是研究对象,即分析一个土体或土条的力学平衡时,是把土和水的混合体当作研究对象,还是把土骨架作为分析对象.近代土力学的回答是可以把土骨架作为分析对象,也可以把包括水在内的浸水土体作为研究对象.许多学者指出,两种方法本质上是一致的,如果计算的各环节处理一样的话,两种方法应得到相同的安全系数解^[7].

如图 1 所示的无限长均匀边坡,水位下的饱和土体位于未融化冻土层上,在坡体内切出一个矩形条块.为计算上的方便,取条块的宽度 $b = 1$, 由于这是一个均质无限边坡,作用于条块左侧和右侧的应力应相等.

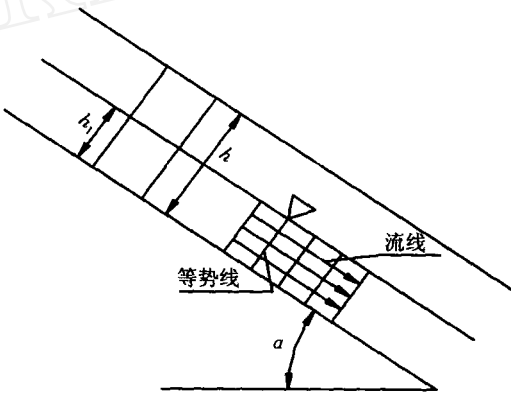


图 1 无限斜坡边坡稳定性分析模型

现用两种不同的处理方法计算其安全系数

1)将土骨架作为研究对象.

那末土骨架受到的外力有:

①水下部分土骨架受到浮重力 $= \gamma b h_1$. 取

$b = 1$, 设 $\frac{h_1}{h} = n$, $h_1 = nh$, 则浮重力还可表示为 $n\gamma h$

②水上部分重 $= \gamma (1 - n) h$

③渗透力 $G_D = nh\gamma_w I$ 式中 I 为水力梯度 $I = \sin \alpha$, 则 $G_D = nh\gamma_w \sin \alpha$

对于无限土坡,滑动面为平面,下面从稳定安全系数的基本概念推导稳定安全系数为

$$F = \frac{\tau_f}{\tau}.$$

(1)

其中: τ_f 为滑动面上的抗剪强度; τ 为滑动面上的实际剪应力.

根据莫尔 - 库仑定律

$$\tau_f = c' + \sigma \tan \phi', \quad (2)$$

$$\sigma' = [(1 - n)\gamma h + n\gamma' h] \cos \alpha = [(1 - n)\gamma + n\gamma'] h \cos \alpha \quad (3)$$

将式 (3) 代入式 (2) 得

$$\tau_f = c' + [(1 - n)\gamma + n\gamma'] h \cos \alpha \tan \phi', \quad (4)$$

$$\tau = [(1 - n)\gamma h + n\gamma' h] \sin \alpha + nh\gamma_w \sin \alpha = [(1 - n)\gamma + n\gamma_{sat}] h \sin \alpha. \quad (5)$$

将式 (4) 和式 (5) 代入式 (1) 得

$$F = \frac{c' + [(1 - n)\gamma + n\gamma'] h \cos \alpha \tan \phi'}{[(1 - n)\gamma + n\gamma_{sat}] h \sin \alpha}. \quad (6)$$

从上式可以看出 n 、 α 值越大, 边坡的稳定安全系数越小, 而且与土的强度指标的变化有关.

2) 将水、土混合体作为研究对象.

此时作用于土条的外力有:

① 土条自重 $W = [(1 - n)\gamma + n\gamma_{sat}] h$

② 土条间的作用力 E 应平行于边坡, 并有

$$\Delta E = 0, X = 0$$

由于等势线垂直于坡面和滑面, 作用于条底的孔隙水压力 U 按 $U = \gamma_w \cdot n h \cos \alpha$ 计算. 故土条底垂直于滑动面的有效作用力

$$N' = [(1 - n)\gamma + n\gamma_{sat}] h \cos \alpha - \gamma_w \cdot n h \cos \alpha,$$

$$\tau_f = c' + \sigma \tan \phi' = c' + \{ [(1 - n)\gamma + n\gamma_{sat}] h \cos \alpha - \gamma_w \cdot n h \cos \alpha \} \tan \phi', \quad (7)$$

$$\tau = W \sin \alpha = [(1 - n)\gamma + n\gamma_{sat}] h \sin \alpha. \quad (8)$$

将式 (7)、(8) 代入式 (1) 并化简得

$$F = \frac{c' + [(1 - n)\gamma + \gamma' h] h \cos \alpha \tan \phi'}{[(1 - n)\gamma + n\gamma_{sat}] h \sin \alpha}. \quad (9)$$

不难发现, 两种不同的处理方法计算其安全

系数是相同的. 式 (6) 和式 (9) 是在地下水的渗流方向与边坡的坡面平行时, 边坡的稳定安全系数一般的表达式. 在一些特殊的情况下, 安全系数的表达式还可以进一步简化.

3 结 语

采用有效应力法, 考虑地下水的渗流作用, 对冻土边坡冻融稳定性分析时, 无论把土和水的混合体当作研究对象, 还是把土骨架作为分析对象, 经过理论推导两种方法得到相同的边坡稳定安全系数, 可为今后季节性冻土区土质边坡的设计及防治提供参考依据.

参考文献:

- [1] 许富俊. 青藏高原多年冻土区斜坡类型及典型斜坡稳定性研究 [J]. 冰川冻土, 2002 (10): 609 - 612
- [2] 田 华. 影响边坡稳定的因素分析 [J]. 山西水利, 2004 (6): 63 - 75
- [3] 高大钊, 袁聚明. 土质学与土力学 [M]. 第三版. 北京: 人民交通出版社, 2004
- [4] 李东庆. 边坡渗流对冻土地区路基稳定性的影响分析 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2000 (6): 175 - 179
- [5] 朱富俊. 青藏高原多年冻土区热融滑塌型斜坡失稳研究 [J]. 岩土工程学报, 2004 (5): 402 - 406
- [6] WEEKS A G. The stability of natural slopes in southeast England as affected by periglacial activity [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1969 (2): 49 - 63
- [7] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析: 原理·方法·程序 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003

(编辑 王小唯)

(上接第 745 页)

3 结 论

1) 有关蚁群算法计算能力的研究还处在初级阶段, 其在算法改进上仍存在较大的提升空间.

2) 蚁群算法在优化动态改变的系统中如泄漏, 阀门堵塞, 停泵等问题时更具有应用价值, 这些方面有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 信昆仑. 遗传算法应用于给水管网管径组合优化 [D]. 青岛: 青岛建筑工程学院, 2000

- [2] 吕 鉴, 贾燕兵. 遗传算法在水分配系统优化设计内的应用研究 [J]. 给水排水, 2001, 27(3): 36 - 39
- [3] DORIGO M, MANIEZZO V, COLONI A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B, 1996, 26(1): 28 - 41
- [4] MAIER H R, SIMPSON A R, ZECCHIN A C. Ant colony optimization for design of water distribution systems [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2003, 129(3): 200 - 209

(编辑 姚向红)