

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.01.004

软弱结构面对花岗岩残积土边坡稳定性影响

陈 玮^{1,2}, 简文彬^{1,2,3}, 董岩松^{1,2}, 林兴旺^{1,2}

(1. 福州大学 环境与资源学院, 福建 福州 350108; 2. 福州大学 岩土工程与工程地质研究所, 福建 福州 350108; 3. 福建省地质灾害重点实验室, 福建 福州 350002)

摘要: 花岗岩残积土边坡存在较为发育的微裂隙结构面和一些软弱岩脉风化而成的软弱夹层, 由于风化作用、降雨和地下水渗入等外界环境影响, 裂隙中的填充物泥化和膨胀, 结构面的抗剪强度迅速下降, 造成边坡失稳破坏。通过对边坡破坏形式和机理的研究, 得到了微裂隙引起边坡破坏的两个内外因素, 外因是开挖导致裂隙处应力集中形成塑性破坏区; 内因是裂隙处土体具有峰值—残余强度差异。以某含软弱夹层花岗岩残积土边坡为例, 建立有限元数值模型对该边坡的变形特征进行研究, 发现软弱夹层的存在不仅造成了边坡总体变形的增大, 还决定了边坡失稳破坏时滑动面的位置。

关键词: 花岗岩残积土; 微裂隙; 软弱夹层; 应力集中; 稳定性

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)01-0023-08

Influence of weak structural surface on stability of granite residual soil slopes

CHEN Wei^{1,2}, JIAN Wenbin^{1,2,3}, DONG Yansong^{1,2}, LIN Xingwang^{1,2}

(1. College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China;
2. Institute of Geotechnical and Engineering Geology, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China;
3. Fujian Provincial Key Laboratory of Geological Hazards, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: Granite residual soil slope exists developmental structure surface of microcracks and weak interlayers from weathering of some weak dyke, fillers in cracks are in the mud and inflation due to the external environment influence, such as weathering, rainfall and groundwater infiltration. Meanwhile, shear strength of the structure drops rapidly, which cause the instability and failure of slope. Through studying the research on the failure modes and mechanism of soil slope, the microcracks found to be resulted in both inside and outside factors of it. External cause is that the excavation which lead to stress concentration in cracks place where become the plastic zone; Internal cause is the differences between peak and residual strength of soil in cracks. Taking a granite residual soil slope with weak interlayer as an example, the finite element numerical model is established to study the deformation characteristics of slope. It is shown that the existence of weak interlayer not only causes the overall deformation of the slope increases, also determines the position of sliding surface.

Keywords: granite residual soil; microcracks; weak interlayers; stress concentration; stability

收稿日期: 2014-03-27; 修订日期: 2014-12-26

基金项目: 福建省地质灾害重点实验室开放基金(FJKLGP2012K001)

第一作者: 陈 玮(1989-), 男, 福建宁德人, 岩土工程专业, 硕士, 主要研究方向为边坡工程。E-mail: 295530500@qq.com

通讯作者: 简文彬(1965-), 男, 福建永定人, 岩土工程与工程地质专业, 教授, 主要从事岩土工程与工程地质方面的教学研究工作。

E-mail: jwb@fzu.edu.cn

0 引言

花岗岩残积土在我国东南地区广泛分布。随着福建省加快推进建设海峡西岸经济区宏伟目标的提出,基础建设的规模也日益扩大,尤其是在高速公路和铁路的大规模修建中大量花岗岩残积土边坡在各种因素影响下出现失稳破坏。

目前,对花岗岩残积土边坡的研究主要集中在边坡破坏的形式、工程特性、土体强度以及变形性能方面,然而大量的工程实践和现场研究发现,花岗岩残积土具有较多的原生裂隙、次生裂隙和残留结构面(土体由岩石强风化而成,保留了原岩的结构面特征,在雨水渗入等自然作用下形成的软弱夹层)。这些特性对此类边坡的稳定性起了决定性作用。很多学者就岩土体的裂隙和软弱夹层对边坡的稳定性影响开展相关的研究,如李志清^[1]指出含裂隙的膨胀土边坡发生强烈胀缩变形是由内、外因素引起的,含有大量的蒙脱石晶体矿物及具有显著的微裂隙结构是灾害的内因和本质;黄键源^[2]通过对微裂隙和充填物性状及其破坏机理的探讨,得出花岗岩残积土边坡开挖及支护的对策。王桢^[3]根据裂隙土的特性建立求解塑性区的简单解析式,为边坡设计提出参考曲线。同时,国内外学者在结构面对工程岩体的完整性、渗透性、物理力学以及应力传递等影响方面的研究也做了大量工作。高正夏^[4]结合某含软弱夹层的水电工程坝基,研究了软弱夹层在渗透水作用下发生渗透变形的方式和程度;张晓平^[5]采用含软弱夹层的土样模型且基于不同的边界条件,对土体应力-应变关系和破坏过程进行细观数值模拟;Bardet J P^[6]模拟边坡剪切带的结构,对剪切带土体厚度、孔隙比、应力应变以及颗粒旋转等进行了研究;李龙起^[7]利用降雨试验模型研究受雨水作用坡体的物理场合变化特征,以及软弱夹层含水率演化特征和泥化效应。

然而,由于花岗岩残积土是花岗岩原地风化而成的残留物,受母岩性质的不均匀性以及风化作用的影响,其边坡的工程特性不同于均质土边坡及岩质边坡,花岗岩残积土边坡的稳定性有其特殊性。因此,本文通过对花岗岩残积土结构面和工程特性的研究,逐一分析微裂隙和软弱夹层对边坡稳定性的影响和边坡破坏的机理,同时对含微裂隙和软弱夹层边坡的应力-应变关系、破坏过程以及不同条件下边坡的稳定性进行有限元数值模拟,总结此类边坡可能的破坏形式,从而对此类边坡的研究、设计及支护提供参考。

1 花岗岩残积土工程特性

1.1 花岗岩残积土的矿物成分

花岗岩残积土的主要矿物成分是石英、高岭石、伊利石;其黏土矿物以高岭石为主(65%~90%)、含少量伊利石(6%~23%)和绿泥石(5%~20%)^[8]。福建地区的花岗岩残积土由于含有较多如高岭石等亲水性的矿物,使其亲水性比较强,胶结物的含量略少,遇水软化、崩解、强度急剧降低,随水流失的特点,对花岗岩残积土的工程性质有十分重要的影响。

1.2 花岗岩残积土软化、崩解特性

花岗岩残积土软化特性与水对残积土颗粒胶结物的影响有关,当所含水分增多时,胶结物的溶解量增大,胶结效果减弱,土体的强度降低、压缩性增加。花岗岩残积土遇水后迅速膨胀崩解,这是由于土体的非均匀性,水分子无法完全进入土体的孔隙中,导致颗粒间扩散层增厚的速度不平衡,粒间斥力和吸力的发展情况也不平衡,容易形成应力集中,最终在斥力超过吸力的最大面上,土体膨胀崩落。

1.3 花岗岩残积土微裂隙结构特征

1.3.1 原生微裂隙

花岗岩残积土是由母岩风化而来,其矿物颗粒之间必定残留有原矿物晶体颗粒间的联结,并保留有母岩中的节理裂隙、小断层、蚀变带等特征,所以花岗岩风化成土后微裂隙仍残留在残积土中,原有岩石裂隙间的填充物高岭石、蒙脱石、绿泥石等由于风化作用和地下水的侵蚀多数已经泥化,强度很低。原生微裂隙具有隐蔽特征,多为闭合状的显微裂隙,需要借助光学显微镜或电子显微镜观察^[9]。

1.3.2 次生微裂隙

花岗岩残积土中的次生微裂隙主要由于外力作用形成的,如风化作用、气候作用、地震、人工开挖等因素。次生微裂隙具有张开状特征,多为宏观裂隙,肉眼下即可看见。次生微裂隙一般多由原生微裂隙发育而成,故次生微裂隙常具有继承性。

1.4 花岗岩残积土软弱结构面

1.4.1 母岩结构面形成的软弱夹层

花岗岩的节理比较发育,其中以区域地质构造作用形成的长大贯通的剪切节理为主,有时一组为优势节理,有时两组共轭发育^[10]。各组节理发育的长短和规模不一,将花岗岩分割成大小不等的块体。节理多为闭合型或有填充物,填充物大多为厚1~2 cm的高岭石、伊利石和绿泥石。填充物在风化、降雨入渗和地

下水侵蚀等作用大多已经泥化,强度很低,成为残积土结构面中的软弱夹层。

1.4.2 岩脉风化形成的软弱夹层

花岗岩中常见不均匀分布的岩脉,有些岩脉抗风化能力较强,形成硬化层,完整性好,强度较高,如石英岩脉;而有些岩脉的抗风化能力比较弱,如长石岩脉,则形成以高岭石为主的软弱夹层,强度较低。高岭石含量较高的花岗岩受外界风化作用影响较大时,则极易在花岗岩残积土中形成软弱夹层。大多数的边坡滑坡、崩塌都是沿着这种岩脉风化后的软弱夹层而形成的。

2 微裂隙对花岗岩残积土边坡稳定影响分析

2.1 微裂隙引起边坡破坏的因素

花岗岩残积土中的裂隙有闭合状、张开状和有填充物的,各组裂隙的发育长短不同,规模不一,有的肉眼很难辨别,有的裂隙长度却达到数十米,这些不规则的裂隙将土体切割成块状不连续体,构成土体的软弱结构面,这些潜在的不连续面在内部土体物理力学性质和外界环境条件改变下往往会形成边坡的滑动破坏面,造成边坡失稳。微裂隙引起边坡失稳的因素大致可以分为外因和内因两个方面。

(1) 外因:由于人工开挖、风化作用、地震、地下水变化等因素造成了边坡的应力场改变,坡体内部应力释放,打破了原有的平衡。在裂隙处和坡脚首先产生应力集中,同时出现塑性破坏区,当应力集中达到一定程度后,坡顶的裂隙进一步向深部发展,裂隙扩展伴随着裂缝尖端的应力集中现象,纵向和横向裂缝扩展方向均受荷载方向影响^[11],塑性区逐渐扩大,最终贯穿整个滑动面形成整体的失稳破坏。

(2) 内因:微裂隙塑性区的物理力学性质的逐渐变化。微裂隙处由于应力集中,塑性变形较大,裂隙容易拉裂张开,由于降雨和地下水渗入,裂隙中的填充物(蒙脱石、高岭石等)遇水泥化和膨胀,结构面的抗剪强度迅速下降,造成局部因破坏出现承载力下降。

2.2 含裂隙花岗岩残积土边坡的破坏形式和破坏机理

大量的工程调查发现,花岗岩残积土边坡破坏的形式主要有:冲蚀、滑移、崩塌三种,而其中由微裂隙为主要控制因素的边坡破坏形式是滑坡和崩塌。边坡失稳及破坏的特点与残积土遇水崩解、软化的工程特性和残积土中微裂隙的发育程度密切相关。

2.2.1 滑移破坏型

花岗岩残积土边坡滑移破坏主要由于人工开挖,造成残积土裂隙不断连接、贯通,塑性破坏区不断增

大,最终沿着裂隙面发生滑移变形(图1)。该类边坡处于地势较为低洼的地带,地下水丰富,埋藏深度较浅,同时边坡出现滑移破坏,多数处于雨期较长、雨量比较集中的雨季。

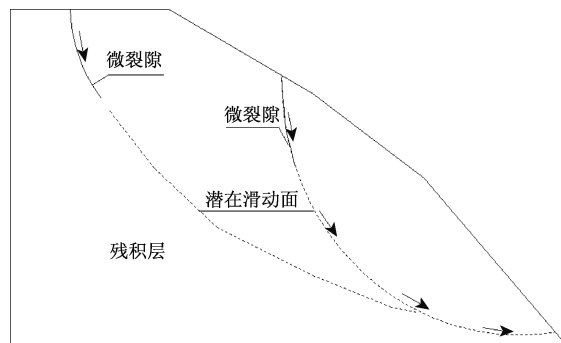


图1 花岗岩残积土滑移破坏型

Fig.1 Sliding failure of granite residual soil

利用有限元 Plaxis 程序中 Mohr-Coulomb 理想塑性模型模拟某理想含裂隙的花岗岩残积土边坡,坡角 30° ,坡高 20 m,基层长 35 m。开挖前花岗岩残积土中微裂隙填充物单元体受到的大小主应力分别为 σ_1 、 σ_3 。当开挖卸载后,小主应力 σ_3 逐渐减小,变为 σ'_3 ,残积土中微裂隙不断张开、拉伸。同时,裂隙处和坡脚处首先出现应力集中(图2)。

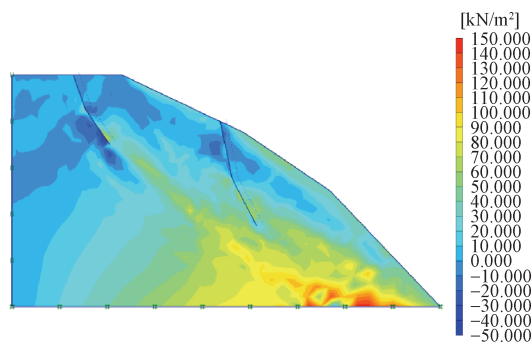


图2 剪应力分布云图

Fig.2 Distribution diagram of shear stress

当应力集中达到一定程度后,塑性破坏区范围逐渐变大,塑性变形不断增大(图3)。在图3中可以看出边坡的坡脚和沿裂隙的滑面处塑性点和拉伸截断点较为密集。

在地下水和降雨入渗的条件下,使残积土微裂隙中的填充物产生泥化、膨胀,结构面的抗剪强度指标迅速下降(由开挖前的 c 、 φ 降低至 c' 、 φ'),抗剪强度线 AB 下移至 A'B'(图4)。由于开挖对土体自重 σ_1 变化不大,小主应力 σ_3 减小后摩尔应力圆的半径增大,应力圆的圆心向做移动(图4中的虚线圆)。

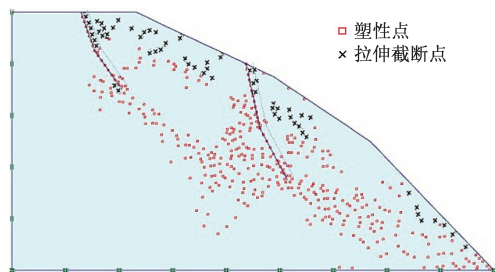


图 3 塑性点、拉伸截断点分布图

Fig. 3 Distribution of plastic yield-point and tensile cut-off point

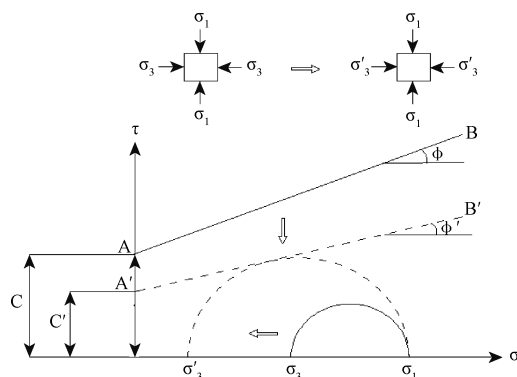


图 4 残积土软弱结构面破坏原理示意图

Fig. 4 Failure principle of weak structural plane in granite soil

在抗剪强度线下移、应力圆变大的共同作用下应力圆与抗剪强度线相切,边坡的屈服破坏区不断增大并逐渐贯通,最终边坡发生滑移破坏(图 5、图 6)。

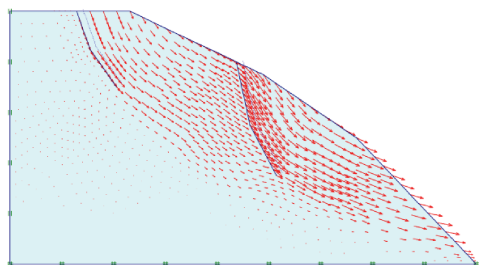


图 5 总位移矢量图

Fig. 5 Vectogram of total displacement

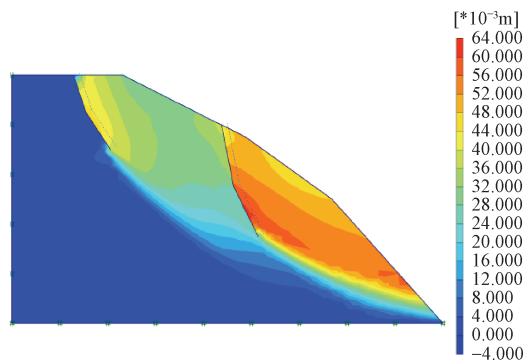


图 6 总位移等值云图

Fig. 6 Isolines of total displacement

行或呈小角度相交的微裂隙产生了拉裂张开。当后缘出现拉裂后,地下水就容易渗入结构面或微裂隙中,使其内充填物(高岭土、伊利石等)泥化,急剧降低了各块体的联结强度及摩阻力,进而迅速降低结构面的强度,最终导致边坡土体在重力的作用下产生崩塌。

崩塌体以倾覆为主,具有较强的整体性。边坡崩塌往往呈“叠瓦”式,即前一级(图 7 中 I 级崩塌体)的崩场所形成的临空面释放了其土体的应力,诱发了后一级产生崩塌(图 7 中 II 级崩塌),如此往复,产生“叠瓦”式崩塌^[10]。

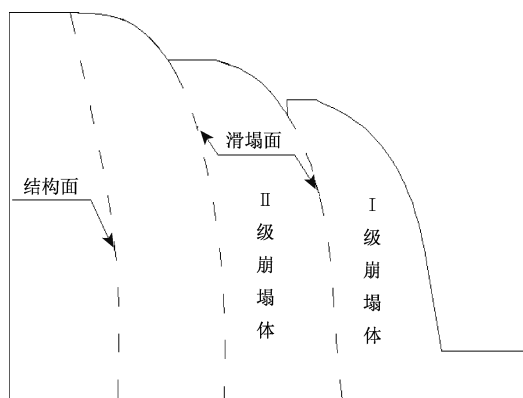


图 7 花岗岩残积土边坡“瓦叠”式崩塌示意图

Fig. 7 Collapsing failure of granite residual soil

2.2.2 崩塌破坏型

花岗岩残积土边坡崩塌破坏前并无明显滑动迹象但在后缘软弱结构面处有较明显的拉裂现象。崩塌发生的首要条件是在边坡后缘出现的结构面与开挖面呈小角度相交或接近平行。这些张拉裂缝和原残积土中的微裂隙将土体单元切割为大小不一的块体,边坡开挖前各块体相互挤压处于平衡状态。但边坡一旦开挖,边坡后缘土体水平向应力释放使得残积土边坡中的结构面或微裂隙张开,倾向开挖面与开挖面接近平

2.3 微裂隙对残积土抗剪强度的影响

岩土破损理论认为,岩土材料包含了并不同时发挥作用的两部分抗剪力。这两部分抗剪力就是抗剪强度黏聚力和内摩擦力。在变形不大时黏聚力就能达到峰值,而摩擦力只有在发生了相当大的变形后,其能力才得到充分发挥。由于微裂隙的切割作用,使土体的应力集中,塑性变形增大,连续性遭到了极大的破坏,从而大大的削弱了土体的强度,大量的工程实例和室内试验表明残积土在裂隙处的强度只有土体强度的

1/5 ~ 1/10,主要反映在黏聚力值上的变化。当裂隙中有填充物出现时,由于物质的改变(由强度更低的物质取代),使其强度更低。当破坏面依附于微裂隙结构面产生时,由于强度低,大大地减弱了抵抗剪切破坏的能力,使边坡更容易发生失稳和破坏。

3 软弱夹层对花岗岩残积土边坡的稳定性分析

结构面对岩土体的稳定性、渗透性、物理力学性质及应力-应变关系等都有重要的影响,在结构面中,那些规模较大、强度较低、易变形的结构面称为软弱夹层(即软弱结构面)。含软弱夹层岩土体的破坏形式及其发展过程取决于边坡系统的整体稳定性,系统的稳定性则与边坡中软弱夹层力学参数和与周围土层的相互作用密切相关。软弱夹层是岩体中的不连续面,由于其物理力学性质差,不论厚薄都给工程建设带来一系列问题^[12],常成为边坡稳定、基坑、堤坝抗滑稳定等的控制性软弱面。

3.1 工程地质概况

某边坡地貌上属残丘坡地,山顶呈浑圆状,原始自然坡度约 30° ~ 40°,植被发育一般,总体地形地势呈中部高两侧低。现场经开挖呈阶梯状斜坡,坡顶已整平。开挖后形成宽约 120 m,高约 20 m 的边坡。边坡的稳定性将直接影响到坡脚住宅及坡顶拟建楼房的安全,故需要对其进行稳定性评价,以便采取相应的加固措施。

根据区域地质资料、现场调查和钻孔揭露本场地地层主要为花岗岩残积土和全风化花岗岩,自上而下具体分为 5 个岩土层:①杂填土,厚度 1.20 ~ 2.10 m;②残积粉质黏性土,厚度 1.50 ~ 6.60 m;③风化夹层,浅褐色、灰黄,泥状晶体,湿润,主要矿物成分为高岭土、绿泥土,厚度在 1 ~ 2 m;④全风化花岗岩,厚度 3.80 ~ 6.10 m。⑤强风化花岗岩,厚度 3.50 ~ 5.20 m。各岩土层的岩性特征、埋深、厚度及分布情况见工程地质剖面图(图 8)和表 1。

表 1 土体的物理力学参数

Table 1 Physico-mechanical parameters of soil mass					
名称	重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	弹性模量 E/MPa	泊松比 ν
填土	18.0	12.0	15.0	9.3	0.34
残积粉质黏土	18.5	23.6	25.5	17.5	0.35
风化软弱夹层	19.1	9.5	10.2	6.1	0.39
全风化花岗岩	19.0	25.0	28.0	19.8	0.32
强风化花岗岩	20.0	29.5	30.0	21.2	0.31

3.2 计算方法和模型

在边坡稳定性分析方法中,极限平衡法固然有它

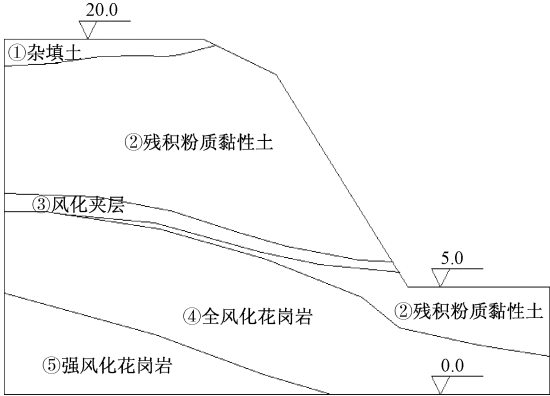


图 8 边坡工程地质剖面图

Fig. 8 Geological cross-section of slope engineering

的优点,但不能解决分析边坡应力和应变的问题。利用 Plaxis 有限元程序进行平面应变分析,模拟的边坡土体范围为:水平向为 30 m,竖直向为 20 m;采用平面 6 节点单元对模型进行自动网格划分,软弱夹层处加密(图 9)。计算中,土体本构模型采用基于摩尔-库伦屈服准则和非关联流动法则的理想弹塑性模型。由于软弱夹层的特殊工程性状,采用软土蠕变单元模型模拟。土层间接触条件为完全连续接触,体系为小变形且只考虑自重的影响。在模型底部边坡计算区域设置为全约束,即采用固定约束,同时约束水平方向和竖直方向变形。在模型两侧约束水平方向变形,顶部为无约束的自由边界,不限制任何方向的变形。

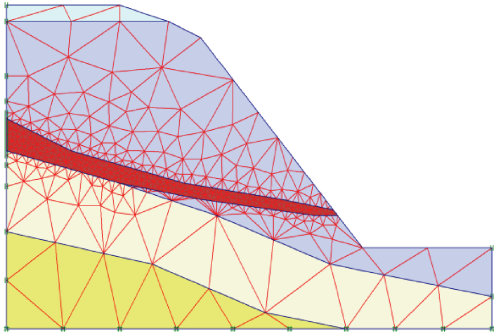


图 9 有限元数值计算模型

Fig. 9 Finite element numerical model

3.3 计算结果分析

首先假设不考虑软弱夹层的影响,只考虑其他土层的边坡的作用,即在有限元数值模拟时不激活软弱夹层,采用强度折减法计算得到边坡的稳定系数为 1.56,表明边坡处于稳定状态,并具有足够的安全储备,边坡的总位移云图如图 10。从图 10 中可以看出,边坡的变形主要在边坡后沿和靠近边坡开挖后造成的临空面,且边坡的潜在滑动面位置较浅,接近坡面。

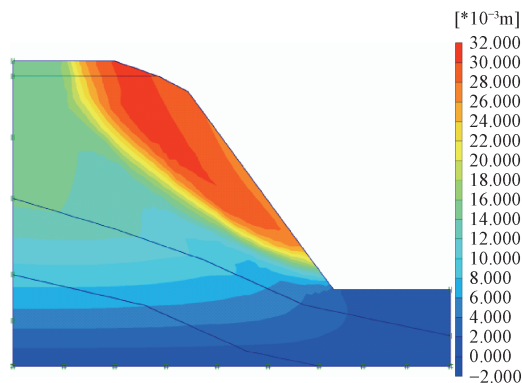


图 10 不含夹层边坡总位移等值云图

Fig. 10 Isolines of total displacement without weak interlayers

实际上,此边坡已经发生局部破坏,并不稳定,由此得出软弱夹层的存在对边坡的稳定性影响大,是控制该边坡失稳的主要因素。因此,需要对边坡的整体位移和软弱夹层处的应力、应变特征进行计算,准确的评价软弱夹层对边坡稳定性的影响程度。

根据计算结果得到该含软弱夹层边坡的总位移等值云图(图 11),位移速度矢量图(图 12),该边坡的总位移值与无软弱夹层边坡对比有明显增幅,变形从坡顶的上部土层开始逐步向边坡深部土层传递,在软弱夹层处有突变,边坡的位移显著变大,达到最大值 22 cm。当穿过软弱夹层时变形传递效应减弱,位移又开始逐渐减小。与无软弱夹层边坡对比,该边坡的潜在滑动面位置不在坡体浅层处,而是出现在软弱夹层处,且靠近残积黏性土与夹层的交界面。由此说明,软弱夹层的存在不仅造成了边坡总体变形的增大,同时决定了边坡失稳破坏时滑动面的位置。

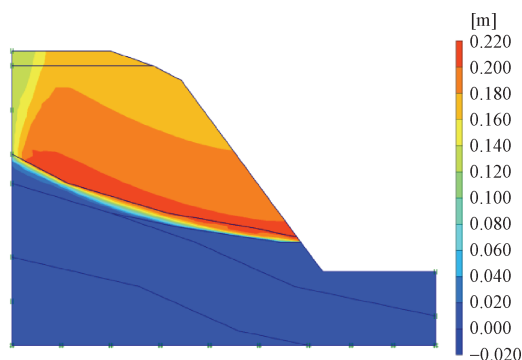


图 11 含软弱夹层边坡总位移等值云图

Fig. 11 Isolines of total displacement with weak interlayers

从图 13 的应力场分布情况可以看出,模型的最大相对剪应力出现软弱夹层和坡脚位置,主要是由于边坡开挖造成坡脚的应力集中和软弱夹层与周围土体物理力学性质差异造成的不均匀性导致边坡应力场重分

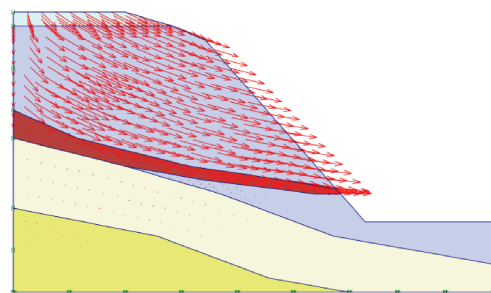


图 12 含软弱夹层边坡总位移矢量图

Fig. 12 Vectogram of total displacement with weak interlayers

布。对软弱夹层处土体强度—位移曲线(图 14)分析可以看出,初始阶段随着位移的增加土体的抗剪强度逐渐提高,当达到最高值(峰值强度)后剪应力将不再继续增大,随剪切位移的增大,土体抗剪强度有所减小,最后达到一个稳定的抗剪强度,即残余强度。由于软弱夹层处产生超应力,使局部区域的土体剪应力超过了土体的峰值强度,发生破坏,破坏时土体只保留残余强度。

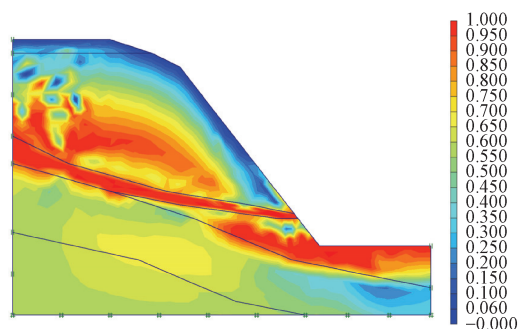


图 13 边坡相对剪应力分布云图

Fig. 13 Distribution diagram of relative shear stress

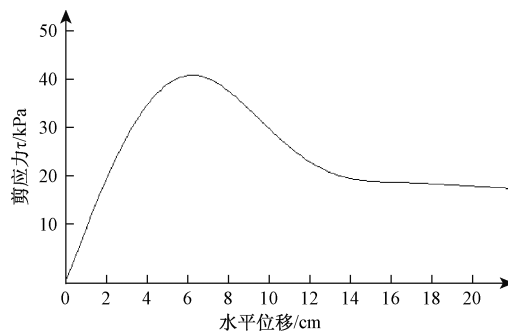


图 14 软弱夹层处土体强度—位移曲线

Fig. 14 Curve of soil's strength-displacement on weak interlayers

在考虑地下水对含软弱结构面的边坡稳定性影响时应分两种不同情况考虑。地下水位在软弱夹层以上,该类边坡常处于地势低洼地带,地下水埋深较浅。

上部土层多为冲积层,与残积土直接接触的常为粒径较大且富水性较好的土层。在边坡开挖形成临空面后,坡面形成了附近地下水的集中排泄区。在降雨和地下水作用下,坡面土体浸水软化膨胀而塌落,加剧边坡的应力场释放。软弱夹层处的土体在地下水渗流作用下,其中的填充物产生泥化和膨胀,结构面强度迅速降低,使得边坡沿软弱结构面产生滑动。同时,在渗透水流作用下,软弱夹层中细小的颗粒在粗颗粒形成的空隙中移动,以至流失。随着土的孔隙不断扩大,渗透流速不断增加,较粗颗粒也相继被水流带走,最终导致土体形成贯通渗流管道,产生流沙、管涌等渗流破坏;地下水在软弱夹层以下,该类边坡常处于坡地丘陵地带,地下水稳定水位多位于残积土或全风化土层中,其上覆盖多为坡积土层,地下水位以上土层透水性和富水性差,土体含水率小,力学参数较高。当开挖在地下水位以上时,边坡整体稳定性较好,当开挖至地下水位以下时,坡体出现局部滑塌,随着地下水位作用不断增强,土体滑塌范围逐渐变大。

计算结果表明,沿软弱阶层处的土体发生了较大的相对滑动,说明边坡的稳定性取决于变形是否进一步发展和软弱夹层处土体的力学参数。为了更准确的分析软弱夹层对边坡稳定性的影响程度,采用强度折减法计算软弱夹层在不同抗剪强度参数下的边坡稳定系数(图15)。

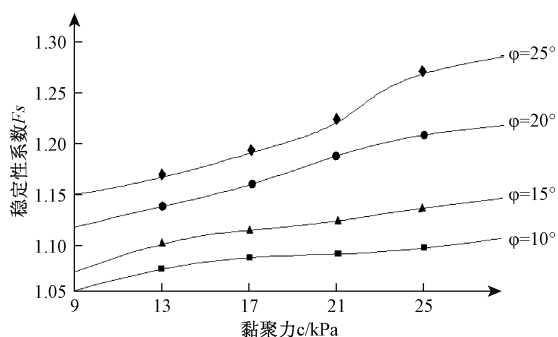


图15 软弱夹层在不同抗剪强度指标

下边坡稳定系数

Fig. 15 Stability coefficients of slope containing weak interlayers with different strength parameters

根据稳定性系数计算结果,随着软弱夹层的黏聚力 c 和内摩擦角 φ 的增加,边坡稳定系数逐渐变大,当黏聚力大于 21kPa,内摩擦角大于 25°时,边坡稳定系数接近 1.30,该边坡基本处于稳定状态。由以上分析可知,软弱夹层处土体的力学参数对边坡稳定性的影响作用较大。软弱夹层具有特殊的物理力学特征,如

果密封条件好,降雨入渗、地下水变化对土体的软化作用小,夹层的抗剪强度指标 (c, φ) 保持在相对较优的水平,这样对边坡的稳定性就影响不大。反之,如果夹层受外界影响严重,抗剪强度指标下降较大,将对边坡的稳定带来不利影响。

4 结论

(1)花岗岩残积土具有较多的原生裂隙、次生裂隙和一些残留结构面(软弱夹层),结构面中充填物强度较低、水稳定性差,在边坡开挖过程中容易引起滑坡或崩塌破坏。

(2)裂隙处土体强度参数弱化和边坡应力场改变在裂隙处出现超应力是微裂隙引起残积土边坡破坏的两个主要因素。

(3)软弱夹层上剪应力分布较集中,变形从坡顶的上部土层开始逐步向深部土层传递,在软弱夹层处又突变达到最大值,当穿过软弱夹层时变形传递效应减弱,位移又开始逐渐减小。

(4)开挖后边坡的塑性变形主要集中在微裂隙和软弱夹层处附近,从坡脚首先发生塑性变形后形成的破坏面逐渐向后、向上延伸,当破坏面贯通至坡顶时,边坡发生整体失稳破坏。

参考文献:

- [1] 李志清,余文龙,付乐,等. 膨胀土胀缩变形规律与灾害机制研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(2):270-275.
LI Zhiqing, YU Wenlong, FU Le, et al. Research on expansion and contraction rules and disaster mechanism of expansive soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(2):270-275.
- [2] 黄键源. 花岗岩残积土中微裂隙对边坡安全影响的探讨[J]. 沿海企业与科技, 2006(8):135-137.
HUANG Jianyuan. The effect of the microcracks on safety of granite residual slope [J]. Coastal Enterprises and Science & Technology, 2006(8):135-137.
- [3] 王桢. 裂土边坡坍塌稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(4):25-31.
WANG Zhen. Stability analysis of slump of fissured soil slope [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1992, 14(4):25-31.
- [4] 高正夏,赵海滨. 岩体软弱夹层渗透变形试验及三维有限元数值模拟[J]. 水文地质工程地质,

- 2008,35 (1): 64-66.
- GAO Zhengxia, ZHAO Haibin. Seepage deformation field test and three-dimensional finite element numerical modeling on weak intercalation in rock mass [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008,35 (1): 64-66.
- [5] 张晓平, 吴顺川, 张志增, 等. 含软弱夹层土样变形破坏过程细观数值模拟及分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(5): 1200-1204.
- ZHANG Xiaoping, WU Shunchuan, ZHANG Zhizeng, et al. Numerical simulation and analysis of failure process of soil with weak intercalated layer[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29 (5): 1200-1204.
- [6] Bardet J P, Proubet J. Shear-band analysis in idealized granular material[J]. Journal of Engineering Mechanics, 1992, 118(2): 397-415.
- [7] 李龙起, 罗书学, 魏文凯, 等. 降雨入渗对含软弱夹层顺层岩质边坡性状影响的模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(9): 1772-1778.
- LI Longqi, LUO Shuxue, WEI Wenkai, et al. Model tests of rainfall infiltration effect on bedding rock slope with weak interlayer [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32 (9): 1772-1778.
- [8] 王清, 唐大雄, 张庆云, 等. 中国东部花岗岩残积土物质成分和结构特征的研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 1991,21(1):73-81.
- WANG Qing, TANG Daxiong, ZHANG Qingyun, et al. A study on the structure and composition of granite residual soil in the Eastern China [J]. Journal of Changchun University, 1991,21(1):73-81.
- [9] 赵中秀. 裂土的裂隙性及其对土体抗剪强度的影响[J]. 路基工程, 1994(5): 11-16.
- ZHAO Zhongxiu. The influence of fissure on shear strength of soil [J]. Subgrade Engineering, 1994(5): 11-16.
- [10] 林瑚旺, 刘成禹. 福建省花岗岩残积土边坡的破坏特点[J]. 中华民居: 学术刊, 2011 (12): 433-435.
- LIN Huwang, LIU Chengyu. The damage characteristics of granite residual soil slope in Fujian province [J]. The Chinese Residential, 2011 (12): 433-435.
- [11] 朱健伟, 叶伟英, 徐金明, 等. 基于视频图像和扩展有限元法的花岗岩裂缝扩展过程[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(3):122-127.
- ZHU Jian Wei, YE Weiyong, XU Jinming, et al. Simulation of propagation of cracks in granite based on digital image processing and extended finite element method [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(3):122-127.
- [12] 许宝田, 钱七虎, 阎长虹, 等. 多层软弱夹层边坡岩体稳定性及加固分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2):3959-3964.
- XU Baotian, QIAN Qihu, YAN Changhong, et al. Stability and strengthening analyses of slope rock mass containing multi-weak interlayers [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(2): 3959-3964.

关于为《中国地质灾害与防治学报》征集照片的启事

为了使本刊论文内容更加形象、生动,便于读者清晰地识别地质灾害的各种地质作用及现象,反映治理措施及治后效果,我刊每期另附彩版照片。凡为彩版或封面提供照片者,每版应附 100~500 字说明,每张照片也应有相应说明。为保证出版效果,请提供原照片;若用数码相机拍摄,请采用 200 万像素以上的模式拍照。照片的分辨率应在 1600×1200dpi 以上(Fine 或 High 模式);如照片文件为扫描版,请采用 600dpi 以上的设置扫描。如用电子邮件发送,请提供照片的原电子文档 JPG 格式(勿自行用 Photoshop 或 ACDsee 等软件处理),以保证照片的清晰度。另请提供 1 份 Word 文档,但其仅供排版时参考,不能作为印刷、排版的原始稿件。提供的照片采用刊登后,付稿酬。欢迎各地、各界同仁踊跃选送各种典型照片(含国外照片)。

感谢您的支持与合作!

本刊网址: <http://zgdzzyfz.paperopen.com>

电子信箱: zhaoh@mail.cigem.gov.cn nitx@mail.cigem.gov.cn

《中国地质灾害与防治学报》编辑部