

土工袋处理膨胀土渠坡的压坡效果

王 珊¹, 刘斯宏²

(河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要 针对膨胀土地区建设渠坡很容易导致渠坡失稳的问题, 将这种膨胀土约束在土工袋中是一种有效的处理方法。运用毕肖普条分法分析了土工袋处理膨胀土渠坡后的稳定性。计算结果表明, 经过土工袋处理后, 渠坡稳定安全系数得到提高。

关键词 土工袋 膨胀土渠坡 毕肖普条分法

中图分类号: TV443+.3

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2012)S1-0026-03

膨胀土主要由强亲水性黏土矿物蒙脱石和伊利石组成, 是具有多裂隙性、膨胀结构、强胀缩性和强衰减性的高塑性黏土^[1]; 它失水收缩、遇水膨胀, 是工程上一种难以处理的“麻烦”土^[2]。在膨胀土分布广泛的地区建设工程往往会带来一系列的问题或事故, 如地基隆起、开裂、渠坡失稳等。将这种“不老实土”约束在土工袋中将会成为一种有效的处理方法^[3]。图 1 为土工袋处理膨胀土渠坡概念图。

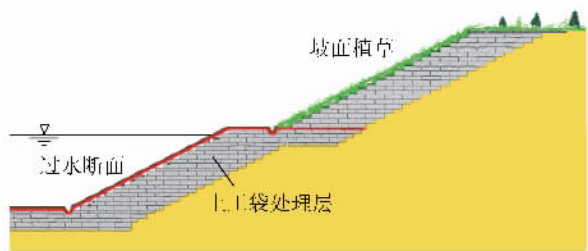


图 1 土工袋处理膨胀土渠坡概念

将膨胀土装入编织袋中形成土工袋, 然后按一定的排列方式放置在膨胀土渠坡上是一种比较有效的处理渠坡失稳的方法。土工袋组合体对膨胀土渠坡的作用有^[3]: ①加筋。由于浸水导致膨胀土膨胀而引起土袋拉伸, 在袋子中产生了张力, 张力作用于袋内膨胀土上, 相当于在袋装膨胀土中产生一个附加黏聚力, 从而大大提高了袋装膨胀土整体的强度。而土工袋组合体由于袋子间的相互嵌固及摩擦作用, 具有较高的整体强度, 因此土工袋组合体相当于一个加筋体。②压坡。土工袋堆放在膨胀土渠坡上, 相当于给膨胀土渠坡作用了一个荷载, 抑制了土袋下层膨胀土的胀缩变形。当其后膨胀土吸水膨胀

时, 由于土工袋压坡是柔性压坡, 它会产生变形, 吸收膨胀势能, 减少由于膨胀力过大引起渠坡失稳的危害。③排水。膨胀土渠坡失稳很大原因是由于膨胀土吸水膨胀, 含水率增大, 导致有效应力减小, 所以有效及时排水是解决问题的关键。由于土袋间的填土不易压实, 渗水大多可以通过土袋组合体间的空隙排走, 这相当于一个表层排水体, 使得进入到土袋内部及处理层后膨胀土内的水大大减少。本文采用极限平衡法分析土工袋处理膨胀土渠坡的压坡效果。

1 土工袋压坡荷载计算

土工袋压坡的稳定分析方法, 是将土工袋加筋体作为一个压坡体作用在膨胀土渠坡上, 假设压坡体和膨胀土渠坡不产生滑动, 即把它们作为一个整体分析。压坡体的可能破坏形式为与其后膨胀土渠坡一起滑动。因此, 压坡体的最危险滑动面的延伸, 稳定分析与其后膨胀土渠坡统一考虑, 为了简化计算, 假设土袋压坡体处于极限平衡状态, 压坡体与膨胀土渠坡间的作用力 P_1 按压坡体的抗倾与抗滑稳定条件求得。

图 2 为土工袋压坡体及其后膨胀土渠坡作用力示意图。图中 W_1 为压坡体的自重, P_1 为压坡体作用于膨胀土渠坡上的力, N_1 为作用于袋装膨胀土组合体底面的垂直力, T_1 为作用于袋装膨胀土组合体底面的抗滑力, φ_1 为土体与压坡体摩擦角, θ 为坡角。为简化计算, 假定: ① P_1 均布作用于膨胀土渠坡上, 也即 P_1 的合力作用点位于计算坡高 H 的 $1/2$

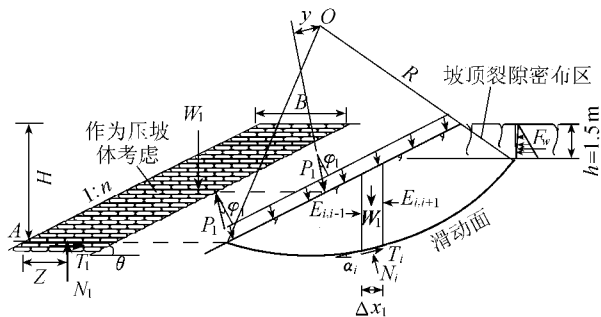


图 2 土工袋压坡体及其后膨胀渠坡作用力示意图

高度处 ②压坡体底面的垂直力 N_1 作用于图 2 中的 A 点, 即 $Z = 0$ 。该假定对比较陡的压坡体来说, 计算得到的压坡体作用于其后渠坡上的力 P_1 偏大, 但当压坡体坡度较缓时, 这种影响很小。根据上述假定, 从力矩的平衡(抗倾覆)条件中可以得到

$$W_1\left(\frac{H}{2}\cot\theta + \frac{B}{2}\right) = P_1\cos(\theta - \varphi_1)\left(\frac{H}{2}\cot\theta + B\right) + P_1\sin(\theta - \varphi_1)\frac{H}{2} \quad (1)$$

求解得

$$P_1 = \frac{W_1 (H \cot \theta + B)}{H \sin(\theta - \varphi_1) + (H \cot \theta + 2B) \cos(\theta - \varphi_1)} \quad (2)$$

由于压坡体还存在水平抗滑稳定问题,因此除了按抗倾覆条件求得 P_1 外,还应按抗滑移条件推求 P_1 ,即

$$P_1 = \frac{\mu W_1}{\sin(\theta - \varphi_1) + \mu \cos(\theta - \varphi_1)} \quad (3)$$

其中, μ 是土体与压坡体的摩擦系数。最终 P_1 值取式 (2) 与式 (3) 计算的两者中的小值。

求出压坡体作用于膨胀土渠坡上的力 P_1 后, 其后膨胀土渠坡的稳定分析可按通常的极限平衡原理进行。由于膨胀土渠坡破坏通常是从土体内弱面局部剪应力集中的区域开始, 然后逐步扩展达到整体破坏, 因此在进行膨胀土渠坡的稳定分析时, 首先必须根据膨胀土渠坡的裂隙发育情况, 分析土体软弱面的组合形式。

2 考虑土工袋压坡效果的简化毕肖普法

膨胀土渠坡的坡顶地面由于长期受空气干湿循环作用,通常会存在一定深度的张拉裂隙密布区。当雨季裂缝内有积水存在时,裂缝内作用有静水压力。图2中,假定张拉裂隙形成的滑裂面为竖直线,不考虑竖直向张拉裂隙处的土体抗剪强度。

毕肖普(Bishop)条分法^[4-5]考虑了土条侧面的作用力,并假定各土条底部滑动面上的抗滑安全系数均相同,即等于滑动面的平均安全系数。为使问

题得解,毕肖普假定土条侧面切向力为零,并已经证明,这种简化对安全系数的影响仅在1%左右。因此本文采用简化的毕肖普法计算。

利用安全系数的定义和 Mohr-Coulumb 准则：

$$T_i = \frac{1}{F_s} T_{fi} = \frac{(c_{\text{total}})_i l_i + N_i \tan(\varphi_{\text{total}})_i}{F_s} \quad (4)$$

式中: F_s 为渠坡稳定安全系数; T_{f_i} 为土条 i 的抗滑力; c_{total} , φ_{total} 为膨胀土抗剪强度指标, 均随含水量的变化而变化, 二者综合反映了膨胀土的吸力与膨胀土结构等对强度的贡献; l_i 为土条 i 底面长度, $l_i = \Delta x_i / \cos \alpha$; m_i 由土条 i 竖向力平衡, 有

$$W_i + q_i \Delta x_i + p \Delta x_i \frac{\cos(\theta - \varphi_1)}{\cos \theta} + \Delta Z_i - T_i \sin \alpha_i - N_i \cos \alpha_i = 0 \quad (5)$$

式中: p 为压坡体作用在膨胀土渠坡上的均布力; q_i 为考虑坡顶裂隙密布区内积水产生的超载, 对于裂隙密布区域外的条分 $a_i = 0$ 。将式(4)代入式(5)得

$$N_i = \frac{1}{m_i} \left(W_i + q_i \Delta x_i + p \Delta x_i \frac{\cos(\theta - \varphi_1)}{\cos \theta} + \Delta Z_i - \frac{1}{F} (c_{\text{total}} l_i \sin \alpha_i) \right) \quad (6)$$

其中

$$m_i = \cos \alpha_i + \frac{\tan(\varphi_{\text{total}})_i}{F_s} \sin \alpha_i$$

整体对圆心 O 求矩, 此时相邻土条之间侧壁作用力的力矩将互相抵消, 即 $\sum \Delta Z_i = 0$, 土袋压坡体作用力矩可以用 $P_1 \gamma$ 表示。因此,

$$\sum [(W_i + q_i \Delta x_i) R \sin \alpha_i] - P_1 y + M_p - \sum T_i R = 0 \quad (7)$$

式中: M_p 为裂隙内静水压力对圆心的力矩, N/m ; y 为土袋压坡体作用力 P_1 对圆心 O 的力臂, 以在圆心 O 的左侧为正, m 。将式(6)代入式(4)求得 T_i 后, 再代入式(7)得

$$F_s = \sum \frac{1}{m_i} \left[(c_{\text{total}})_i \Delta x_i + (W_i + q_i \Delta x_i + p \Delta x_i \frac{\cos(\theta - \varphi_1)}{\cos \theta}) \tan(\varphi_{\text{total}})_i \right] \cdot \left\{ \sum [(W_i + q_i \Delta x_i) \sin \alpha_i] + \frac{M_p}{R} - \frac{P_1 y}{R} \right\}^{-1} \quad (8)$$

式中,抗剪强度指标 c_i, φ_i 与土条 i 底面法向应力 $\sigma_n = N/l_i$ 有关。由于式(8)右端项中的 m_i 及 P_1 为安全系数的函数,因此,式(8)式需通过迭代法进行求解。

通常受大气作用影响,膨胀土表层土体的含水量随深度而变化^[6],但由于土工袋组合体的透水性较好,进入土工袋组合体的雨水或其他渗水大部分会沿土工袋组合体之间的空隙迅速排走。为防止这

种现象发生,可以在土工袋施工完后,在其外表面铺上一层土工膜,而后进行衬砌或植草保护。因此,对土工袋组合体下层的膨胀土渠坡进行稳定分析时,可不考虑坡面土体含水量随深度的变化。

3 算例分析

对南水北调中线总干渠河南新乡潞王坟的膨胀土渠坡进行计算分析。底坡长 40 m,高 15 m,渠坡坡度为 1:2。土工袋压坡体直接堆放在开挖的膨胀土渠坡上,水平宽度 2 m。压坡体施工完后,在其外表面铺上一层土工膜,而后进行衬砌保护。试验段渠坡岩体以黏土岩为主计算,取饱和密度为 2.04 t/m^3 ,天然密度为 1.80 t/m^3 ,黏聚力为 20 kPa,内摩擦角为 17° 。不考虑坡顶张拉裂隙,即令 $M_p = 0, q_i = 0$ 。

未经土工袋处理的膨胀土渠坡,其半径 30.15 m,稳定安全系数为 2.86。划弧形状见图 3。经过土工袋处理后的膨胀土渠坡,其半径 26.11 m,稳定安全系数为 3.65,圆弧滑动面形状见图 4。显然,有土工

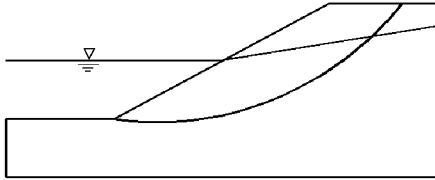


图 3 坡前蓄水圆弧滑动面

袋处理的方案其稳定安全系数比不考虑压坡情况要高,相应的滑弧深度要深。安全系数提高幅度达 27.4%,可见土工袋压坡效果明显。土工袋处理膨胀土渠坡,可以提高渠坡的整体稳定性。

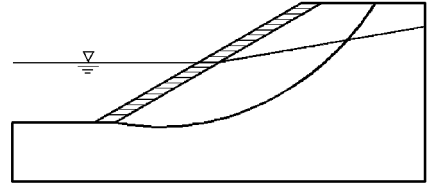


图 4 土工袋处理后圆弧滑动面

参考文献:

- [1] 孙长龙,殷宗泽,王福升.膨胀土性质研究综述[J].水利水电科技进展,1995,15(6):10-11.
- [2] 宁根成.浅谈地区膨胀土的性质[J].西部探矿工程,2003(9):1-2.
- [3] 刘斯宏.土袋技术在膨胀土地基处理中的应用[M].南京:河海大学出版社,2007:21-27.
- [4] 卢廷浩.土力学[M].南京:河海大学出版社,2002:235-255.
- [5] 周资斌.基于极限平衡法和有限元法的边坡稳定分析研究[D].河北:河北理工学院,2004.
- [6] 刘斯宏,汪易森,朱克生,等.有荷条件下南阳膨胀土强度试验及其应用[J].水利学报,2010:361-366.
- (收稿日期 2011-09-15 编辑 熊水斌)
- (上接第 25 页)
- [4] JEWELL R A, PEDLEY M J. Soil nailing design[J]. Ground Engineering, 1990, 23(2):20-36.
- [5] JEWELL R A, PEDLEY M J. Review of theoretical models for soil nailing[J]. British Geotechnical Society, 1990, 12(2):17-21.
- [6] SCHLOSSER F, BUHAN P D E. Theory and design related to the performance of reinforced soil structures[J]. British Geotechnical Society, 1990, 12(2):6-8.
- [7] SCHLOSSER F. The multicriteria theory in soil nailing[J]. Ground Engineering, November, 1991, 23(2):13-15.
- [8] Schlosser F, Unterriner P. French research program CLOUTERRE on soil nailing, performance of reinforced soil structures[J]. British Geotechnical Society, 1990, 12(2):13-16.
- [9] Briddle R J. Soil nailing-analysis and design[J]. Ground Engineering, 1989, 22(6):52-56.
- [10] 刘大鹏.土钉支护设计中土钉倾角对边坡稳定性影响研究[J].北京交通管理干部学院学报,2005,15(3):24-28.
- [11] 俞季民,邹勇.土钉支护结构模型实验研究[J].土工基础,1998,12(1):14-9.
- [12] 黄汉成.土钉支护设计中几个问题的探讨[J].岩土工程界,2001,4(12):50-55.
- [13] 龚晓南.土钉和复合土钉支护若干问题[J].土木工程学报,2003,36(10):80-83.
- [14] 崔岩,赵国景,吴世红.土钉支护参数的研究[J].特种结构,2001,18(4):36-38.
- [15] 张明聚,宋二祥,陈肇元.土钉支护设计的修正条分法[J].工程勘察,1997(6):1-5.
- [16] 张建民,谢定义.饱和砂土动本构理论研究进展[J].力学进展,1994,24(2):187-201.
- [17] CUNDALL P A, STRACK O D L. A discrete numerical model for granular assemblies[J]. Geotechnique, 1979, 29(1):47-65.
- [18] MATSUOKA H, YAMAMOTO S. A microscopic study on shear mechanism of granular materials by DEM[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1994, 120(26):167-175. (in Japanese)
- [19] 王泳嘉,邢纪波.离散单元法及其在岩土力学中的应用[M].沈阳:东北工学院出版社,1991.
- [20] 张孟喜,张石磊. H-V 加筋土性状的颗粒流细观模拟[J].岩土工程学报,2008,30(5):625-631.
- (收稿日期 2011-09-09 编辑 熊水斌)