

高分子固化剂加固土质边坡的稳定性分析

汪勇,刘瑾,张达,冯巧,元孝辉,冯嘉馨
(河海大学 地球科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:分析高分子固化剂的加固机理,并利用室内试验测得的抗剪强度参数,采用 Slide 软件进行数值建模,主要研究在不同边坡坡比工况下,固化剂的浓度和加固厚度对边坡稳定性的影响。研究表明:高分子固化剂的护坡机理主要为高分子固结成膜加固,植被根系的锚固和加筋作用。高分子固化剂对于不同坡比工况下的边坡稳定性的提高均具有积极的作用。在同一坡比工况下,加固深度对于稳定性的影响受其他因素相关性小,而固化剂浓度对于稳定性的影响受本身稳定性系数影响,与其他因素相关性较大。当边坡坡比越小时,即原坡面稳定性系数越小时,加固后稳定性系数增加的比例越小。高分子固化剂应用到工程边坡上,促进边坡坡面的植被生长与恢复,根被根系的加固作用将更有利于提高边坡的稳定性。

关键词:高分子固化剂;土质边坡;加固机理;稳定性;数值模拟

中图分类号:TU43

文献标识码:A

Stability analysis of soil slope reinforced by polymer curing agent

WANG Yong, LIU Jin, ZHANG Da, FENG Qiao, QI Xiaohui, FENG Jiaxin
(School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing, 210098, China)

Abstract: As a new type of soil reinforcement material, polymer curing agent plays an important role in slope greening and slope stability. The polymeric solidified agent reinforcement mechanism was analyzed, and the laboratory test of shear strength parameters was carried out. The aim of these works is to analyze the influence of the curing agent concentration and reinforcement thickness on slope stability under different slope conditions. The results show that the slope protection mechanism of the polymer curing agent is mainly for the consolidation of the polymer and the anchoring and reinforcement of the vegetation root system. The slope stability of polymer curing agent for different slope under the condition of the increase has a positive effect. In the same slope conditions, reinforced depth for stability is more affected by other factors than the curing agent concentration. Application of polymer curing agent to the slope engineering can promote the growth and restoration of vegetation on the slope surface, and the root reinforcement effect will be more conducive to improve the stability of the slope.

Key words: polymer curing agent; slope; strengthening mechanism; stability; numerical simulation

大量修建的城市基础设施以及大型交通工程和水利工程中天然裸露坡面或开挖造成的新鲜坡面,在降雨等条件的作用下,容易造成坡面及周边水土流失、植被破坏严重等问题。传统的护坡方式达不到当今社会对于节省人力、追求绿色环保的理念^[1-2]。生态护坡的理念已渐渐成为工程首

选方案。将高分子固化剂运用在边坡加固上,对土壤的强度进行改善,同时也有利于植被的恢复,从而达到提高土体稳定和防治水土流失的目的^[3-6]。目前的研究主要集中在对高分子固化剂的研发和固化机理的探讨阶段^[7-9],对于高分子固化剂在工程加固方面的实用效果和工况变化对

于加固影响缺少较为全面的研究。本论文利用 Slide 软件进行数值模拟,对固化剂浓度、加固深度、边坡坡比等因素进行较为系统的研究,得出高分子固化剂加固效果的变化情况。本课题组选用了 STW 型高分子固化剂作为研究对象,室内试验获得建立边坡模型的基本物理性质参数,对不同因素进行定量分析,并分析植被护坡的力学机理,为边坡生态治理提供指导。

1 加固机理分析

高分子固化剂对土质边坡的加固机理可以分为两方面:高分子固结护坡,生态护坡。

在 STW 型高分子固化剂中,乳胶粒是改善土壤性质的有效成分。乳胶粒的表面在乳液中被大量带有负电的乳化剂吸附,当把高分子固化剂稀释液喷洒到土壤表面,稀释液会慢慢渗透到深处,将表层土都包裹在内。稀释液中的乳胶粒与土颗粒接触后,带负电的乳胶粒由于静电吸附作用而吸附到土颗粒表面。内部的聚醋酸乙烯酯聚合物的长链逐渐展开,聚醋酸乙烯酯聚合物的分子链含有大量官能基团,其中就包括羧基和羟基两类亲水基团。由于亲水基团与土颗粒发生的这些物理及化学作用,这样就会使得高分子链上的亲水基团朝向土颗粒,紧密结合;疏水性的碳碳高分子长链在土颗粒表面及空隙内,构建出牢固的网状膜结构,将土体包含在内,成为一个有机的整体,起到稳定固化土壤的作用。

在边坡表面喷洒高分子固化剂时,可以添加适当比例的植被种子与营养液,营养液有助于种子的生长,加速植被的形成。植被根系的加固作用,主要有两部分:深根锚固作用和浅根增加强度作用。无植被土体的粘聚力 c 、最大主应力 σ_1 和最小主应力 σ_3 均较小,摩尔—库伦圆的破坏线的值较小,而有植被的土体的粘聚力增加 Δc ,最大和最小主应力分别增加 $\Delta\sigma_1$ 和 $\Delta\sigma_3$,摩尔—库伦圆的破坏线的值较大。

植被的主根一般会扎入到加深的土层中,将植被种植在边坡表面,主根会穿过边坡表面发生风化或侵蚀后而比较松散的表层土,类似于边坡工程治理中常用的预应力锚杆。植被的须根纤细且多,一般生长较浅,在边坡表层土中会相互交叉,使边坡表层土层在横向上连接起来,把它们变成一个混合整体。植被根系在很大程度上相当于土体的加筋材料,对土体进行物理加固,提供土体的稳定性。植被根系在土体中交错生长,容易形成网状的加筋网,在很大程度上减少了土体的变形,提高了土颗粒间的粘聚力和摩擦角。

2 参数选取

2.1 固化剂参数

为了获得建立模型进行数值分析的基本物理性质参数,课题组选用了 STW 型高分子固化剂进行室内评价。STW 型高分子固化剂是一种质地细腻,无可见颗粒物的可与水任意比例互溶的有机高分子材料。它的基本参数如表 1。

2.2 强度参数

在自然状态下,将现场取得的膨胀土边坡表层土风干,破碎后用 2 mm 标准筛进行筛选。取清水作对比样,再将高分子固化剂稀释成 3 种不同浓度 10%、20% 和 30% 的稀释液,试样制备完成后,然后分别喷洒相同量的水和稀释液到土体上搅拌均匀。试验中将土的含水率调至 17.8%,测得干容重为 1.7 g/cm^3 。土样搅拌均匀后采用静力压实法压实制成相应的土样,在养护箱分别养护 48 h 后进行抗剪切试验。抗剪切试验所采用的试验仪器是应变控制式直剪仪,试验过程中设计了四级荷载,分别为 50、100、200 和 300 kPa,剪切的应变速率为 0.8 mm/min 。得到的改性土的抗剪切强度参数见表 2。

表 1 STW 型高分子固化剂基本参数
Tab. 1 Basic parameters of STW type polymer curing agent

指标	pH 值	粘度 /(MPa·s)	比重	固含量 /%	吸水率 /%	凝胶率 /%
参数值	6~7	400~3 000	1.05~1.07	41~45	34~38	1.48~1.53

表 2 抗剪切强度参数
Tab.2 Shear strength parameters

固化剂浓度/%	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\phi/^{\circ}$
0	56.0	24
10	65.0	28
20	68.0	29
30	70.0	30

3 数值模拟分析

3.1 边坡模型

在本章建立的模型中,假设边坡为一理想状态下的均匀土质边坡,边坡高度为 10 m,整个坡面裂隙均匀分布,设置为 10 cm 深。根据《江苏省地下水监测年报》,苏南地区的地下水位为 1~3 m,故该模型设置的地下水位为 3 m。边坡模型示意图见图 1。

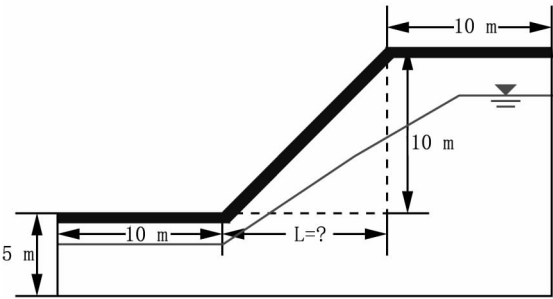


图1 边坡模型示意图
Fig.1 Sketch map of slope model

3.2 稳定性分析

根据室内土工试验测得的抗剪强度参数,对上述边坡模型设置参数,对边坡进行了稳定性评价。

本文主要建立三组边坡模型,取边坡坡比分别为 1:1.5、1:1 和 1:0.8,在各组边坡模型上改变坡面加固土的厚度(10、20、30、40、50 cm)和固化剂浓度(10%、20%、30%)对应的抗剪强度参数,从而得到以下不同状况下的稳定性系数。

将参数代入模型计算分析得到不同条件下的稳定性系数,将所得数据制成折线图 2~图 4。

由图 2~图 4 可知,高分子固化剂会在一定程度上增加边坡的稳定性系数,提高边坡的稳定性。从整体上来看,在相同边坡坡比的工况下,加固后的稳定性系数均比未加固的大,当固化剂浓度越大时,稳定性系数越大;根据折线图的变化趋势,当固化剂浓度为 10% 和 20% 时,边坡稳定性系数

增加的幅度较大,当浓度为 30% 时,稳定性系数的增加幅度明显较小,20% 的浓度是发挥高分子固化剂加固作用的较理想的浓度。

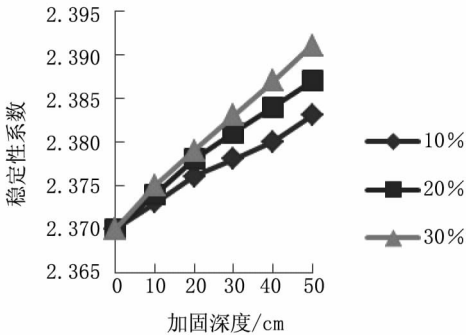


图2 坡比1:1的稳定性系数变化图
Fig.2 Stability coefficient of variation of slope 1:0.8

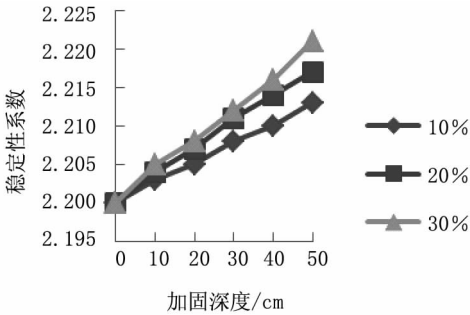


图3 坡比1:0.8的稳定性系数变化图
Fig.3 Stability coefficient of variation of slope 1:1

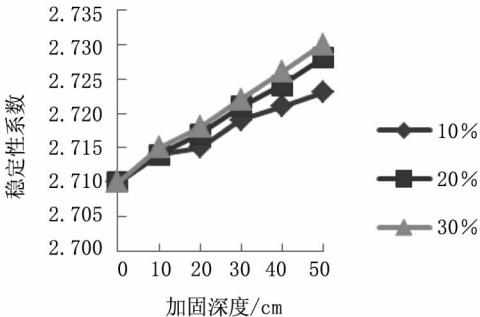


图4 坡比1:1.5的稳定性系数变化图
Fig.4 Stability coefficient of variation of slope 1:1.5

在任一边坡坡比工况下,固化剂浓度不改变,随着加固深度的增加,边坡的稳定(下转第 38 页)

筑荷载对影响范围内的地面及地铁结构的竖向沉降差异较大,CY模型得到的计算结果远小于MC模型。依据北京地区的工程经验,认为基础外围土体选择CY模型更为合理。

参考文献:

- [1]段伟,赵兵帅,陆晓勇,等.地铁隧道全断面监测数据的建模及断面拟合算法的研究[J].勘察科学技术,2016(2):16-19.
- [2]吕连勋,李廷春,陈伟,等.地面超载条件下覆跨比对浅埋隧道稳定性的影响[J].河南大学学报:自然科学版,2015,45(3):373-378.
- [3]王萍.地铁基坑开挖中建筑物差异沉降影响分析[J].河北工程大学学报:自然科学版,2014,31(1):25-28.
- [4]吴秀强.紧邻地铁的建筑深基坑施工变形综合控制技

术研究[J].建筑施工,2014(6):638-640.

- [5]戴宏伟,陈仁朋,陈云敏.地面新施工荷载对临近地铁隧道纵向变形的影响分析研究[J].岩土工程学报,2006,28(3):312-316.
- [6]杨栋,黄茂松,钱建固.地面加载对临近软土地铁隧道变形曲率的影响分析[C]//第六届全国青年岩土力学与工程会议暨岩土工程系列学术研讨会论文集.上海,2007,253-256.
- [7]闫静雅,张子新,黄宏伟,等.桩基础荷载对邻近已有隧道影响的有限元分析[J].岩土力学,2008,29(9):2508-2514.
- [8]张晓婷.摩尔库仑模型与CYsoil模型的计算比较[J].科教文汇,2014(10):68-74.

(责任编辑 王利君)

(上接第16页)性系数逐渐增加,并且呈线性增加的趋势,可以得出加固深度对于稳定性系数的影响与其他因素的相关性较小。

根据以上分析,为了了解浓度为20%的固化剂在添加前后对于稳定系数的影响,选取了加固深度为30 cm,比较在三种坡比模型中稳定性系数的增加比例。

表3 稳定性系数增加比例
Tab.3 Coefficient of stability

边坡坡比	未加固	加固后	增加比例
1:1.5	2.710	2.721	0.406%
1:1	2.370	2.381	0.464%
1:0.8	2.200	2.211	0.500%

由表3可以看出,当坡比为1:1.5时,增加比例为0.406%;当坡比为1:0.8时,增加比例为0.500%;当坡比为1:1时,增加比例为0.464%,由此可见,当边坡坡比越小时,即原坡面稳定性系数越小时,加固后稳定性系数增加的比例越小。

4 结论

1)高分子固化剂的加固机理是高分子在坡面固结成膜,植被根系的加固作用将更有利于提高边坡的稳定性。

2)高分子固化剂对土质边坡加固后,会一定程度地提高边坡的稳定性,对于提高边坡稳定性具有积极作用。

3)在相同边坡坡比的情况下,相同的加固深度,固化剂浓度越大,边坡的稳定性系数越大;相同的固化剂浓度,随着加固深度不断增加,稳定性系数呈线性增加。

4)加固深度对于稳定性的影响受其他因素相关性小,而固化剂浓度对于稳定性的影响受本身稳定性系数影响,与其他因素相关性较大。

参考文献:

- [1]周利恩,尚彦,余建新.工程边坡生态防护技术[J].云南农业大学学报,2006,21(4):517-522.
- [2]边博,李磊,周凌辉.砌块式生态护坡实施的生态效应研究[J].环境科学与技术,2014,37(4):26-30.
- [3]沈飞,曹净,曹慧.土壤固化剂的发展现状及其前景展望[J].矿产勘查,2008,(8):62-66.
- [4]李浩,陈小薇,王选仓.环保型改性高分子材料固沙剂实用性能研究[J].科学技术与工程,2014,14(26):144-148.
- [5]柴寿喜,王沛,韩文峰,等.高分子材料固化滨海盐渍土的强度与微结构研究[J].岩土力学,2007,28(6):1067-1072.
- [6]单志杰,张兴昌,赵伟霞,等.EN-1固化剂对土壤抗蚀性的影响[J].水土保持学报,2010,24(5):6-9.
- [7]李建法.新型高分子沙土稳定材料的研制与应用[D].北京:中国林业科学研究院,2003.
- [8]LIU Jiankun, ZHANG Jiangnan, CHEN Mengqiao, et al. Experimental Study on Dynamic Properties of Clay Modified by Aught-Set Solidifying Agent Subjected to Freeze-Thaw Cycles[C]//American Society for Testing and Materials Special Technical Publications, 2013(1568):86-94.
- [9]ATTOM M F, MUNJED M A. Soil stabilization with burned olive waste[J]. Applied Clay Science, 1998, 13(3):219-230.

(责任编辑 李军)