

Numerical Simulation Analysis of Ecological Reinforced Soil Retaining Wall

Ting Wang Xukang Li Riheng Yan Jinhan Xu Xinyi Li Xuzheng Cao

Tianjin Renai College, Tianjin, 301636, China

Abstract

In order to achieve the purpose of resilient disaster prevention and ecological slope protection, the retaining wall structure is integrated with the concept of resilience and green ecology, and the traditional reinforced soil retaining wall is improved into a new stepped ecological reinforced soil retaining wall. Based on the 60m high retaining wall of an airport, basalt fiber reinforcement and waste tires are proposed as composite reinforcement. The strength reduction method is applied to calculate the safety factor of the retaining wall, and the displacement and stress of the retaining wall are analyzed. The results show that the displacement of the retaining wall is greatly reduced after reinforcement, and the effect of composite reinforcement on controlling the deformation of the retaining wall is more obvious, which can effectively improve the stability of the retaining wall; the results show that the composite reinforcement can significantly improve the distribution of shear stress and reduce the shear stress concentration of retaining wall; the combination of basalt fiber reinforcement and tire strip can effectively provide tensile resistance and prevent the penetration of sliding surface.

Keywords

toughness concept; green ecology; reinforced earth retaining wall

生态加筋土挡墙数值模拟分析

王婷 李旭康 严日恒 许劲晗 李欣宜 曹旭铨

天津仁爱学院, 中国·天津 301636

摘要

为达到韧性防灾和生态护坡的目的, 将挡土墙结构与韧性理念及绿色生态相融合, 把传统的加筋土挡墙改进为新型阶梯式生态加筋土挡墙。依托某机场 60m 高的挡墙, 提出玄武岩纤维筋和废旧轮胎作为复合筋材, 应用强度折减法计算挡墙的安全系数, 分析挡墙的位移和应力。计算结果表明: 加筋后挡墙位移大幅度降低, 复合筋材对控制挡墙变形效果更明显, 有效地提高挡墙的稳定; 复合布筋方式可以明显改善填土内的剪应力分布, 减少挡墙剪应力集中; 玄武岩纤维筋和轮胎条带共同作用, 有效地提供了抗拉力, 阻止其滑裂面的贯通。

关键词

韧性理念; 绿色生态; 加筋土挡墙

1 引言

伴随着气候变化、地震灾害、重大疫情等危机的频频发生, 韧性理念成为中国智慧城市发展规划当中的重要内容。韧性指系统能够凭借自身的能力去抵御灾害、适应灾害, 从而减少冲击对系统带来的损失, 并通过合理的调配资源达到新的平衡, 达到自我修复, 可以体现系统的可持续发展能力^[1]。为践行绿水青山就是金山银山的绿色发展理念, 生态、环保

和节能的需求也成为我们必须考虑的条件。夏乐^[2]提出了生态挡土墙的技术思想, 增加了生态蓝系统, 使挡土墙结构向绿化、降噪、除尘等方向发展。汤洪霞^[3]提出一种新型绿化挡土墙, 采用玄武岩纤维筋以及土工布进行施工, 依靠自身重力等使抗滑面上的抗剪强度增加, 进而增加坡体的稳定安全系数, 达到加固效果。李丽华^[4]将废旧轮胎与三向格栅组合形成共同加筋体, 并对加筋土挡墙开展了超载模型试验, 得出此种加筋方式对抗震效果影响显著的结论。胡永建^[5]以防洪减灾护岸工程为研究对象, 探讨了加筋土挡墙施工工艺, 并进行了实际应用, 效果良好。目前, 国际上学者将韧性和生态理念结合起来对加筋土挡墙的研究较少, 相较于传统加

【基金项目】天津市级大学生创新创业训练计划项目资助(项目编号: 202014038053)。

【作者简介】王婷(1988-), 女, 中国甘肃张掖人, 讲师, 从事岩土工程数值分析研究。

筋土挡墙，论文依托某某机场 60m 高的砾质土边坡，研究的阶梯状生态加筋土挡墙，能较好地体现韧性和生态的理念，基于有限元软件 MIDAS，应用强度折减法计算安全系数并分析其稳定性。

2 强度折减法

挡墙的稳定性评价由安全系数 F 来确定，在极限平衡理论计算方法中，安全系数定义为潜在滑移面的抗滑力（力矩）与下滑力（力矩）之比，即：

$$F_s = \frac{\int_0^l \tau_f dl}{\int_0^l \alpha dl} = \frac{\int_0^l (c + \sigma \tan \varphi) dl}{\int_0^l \alpha dl} \quad (1)$$

两边同时除以 F_s ，得到：

$$1 = \frac{\int_0^l (\frac{c}{F_s} + \frac{\sigma \tan \varphi}{F_s}) dl}{\int_0^l \alpha dl} = \frac{\int_0^l (c' + \sigma \tan \varphi') dl}{\int_0^l \alpha dl} \quad (2)$$

则：

$$\begin{aligned} c' &= c / F_s \\ \varphi' &= \arctan(\tan \varphi / F_s) \end{aligned} \quad (3)$$

式中： c' 和 φ' 为折减后的抗剪强度指标； F_s 为强度折减系数，临界破坏状态的折减系数 F_s 为挡墙的安全系数 F 。

在极限平衡分析中，强度折减法是按式（3）不断地降低岩土体的抗剪强度指标，直至挡墙达到临界破坏状态，此时的折减系数即挡墙的安全系数。

3 加筋土挡墙工程实例分析

3.1 有限元计算模型

依托某某机场的加筋土挡墙，建立有限元计算模型。挡墙高度为 60m，坡度较陡，分四级进行填筑，每级挡墙高度为 15m，坡度为 70° ，台阶的宽度为 3m。计算模型尺寸的选取参考郑颖人^[6]提出的较为精确的计算范围，挡墙脚处到右端边界的距离为墙高的 1.5 倍，坡顶到左端边界的距离为坡高的 2.5 倍，且上下边界总高度不小于挡墙高度的 2 倍。挡墙中筋材布置长度从一级挡墙至四级挡墙依次为 45m、37m、30m 和 25m，筋材分别取废旧轮胎条带和复合筋材（废旧轮胎和玄武岩纤维筋）进行对比计算。由此得出有限元计算模型如图 1 所示。

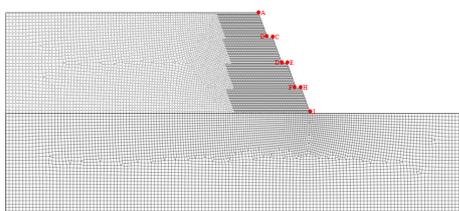


图 1 有限元计算模型

通过对该挡墙填筑料进行土工试验，及参考有关文献，计算模型材料参数取值见表 1。

表 1 计算模型材料参数

名称	弹性	泊 松	重 度	c	φ
	模量				
	E (MPa)		γ (kN/m ³)	(kPa)	(°)
基岩	1000	0.25	22	700	39
填土	60	0.32	20	49.3	34
玄武岩筋	41000	0.15	18	/	/
废旧轮胎	152	0.33	20	/	/
条带					
格构梁	28000	0.2	25	/	/

3.2 变形分析

提取未加筋挡墙、轮胎条带挡墙和复合加筋挡墙中每级挡墙坡顶和坡脚处共 8 个点的位移，见表 2。规定测点的水平位移向右为正，竖向位移向上为正。坡顶处水平位移较小，越靠近坡脚，水平位移越大，但到 I 点时，位移很小，是因为坡脚处设置了护脚。未加筋时，水平位移向右且位移值达 30.95m，竖向位移向上且位移值达到 8.49m，挡墙已出现了失稳破坏，符合坡体滑移破坏的变形特征。由图 2 复合加筋挡墙的水平位移云图得知，发生最大水平位移的点位于第一级挡墙靠近坡脚处，位移值为 0.288m，方向向右指向临空面。由图 3 竖向位移云图可知，发生最大竖向位移的点位于第四级挡墙坡顶处，沉降位移值为 0.531m。加筋后挡墙位移大幅度降低，复合筋材对控制挡墙变形效果更明显。

表 2 不同挡墙下各监测点的位移值

监测点	未加筋挡墙		轮胎条带挡墙		复合加筋挡墙	
	X 向	Y 向	X 向	Y 向	X 向	Y 向
	位移 (m)					
A	11.72	-5.73	0.20	-0.57	0.04	-0.17
B	16.31	-3.92	0.36	-0.51	0.11	-0.19
C	16.30	-2.92	0.36	-0.43	0.11	-0.30
D	21.84	-0.26	0.57	-0.35	0.20	-0.05
E	21.84	1.24	0.57	-0.25	0.21	-0.04
F	30.75	5.82	0.81	-0.16	0.24	-0.34
H	30.95	8.49	0.97	-0.29	0.26	-0.45
I	0.00	-0.05	0.01	-0.05	0.01	-0.42

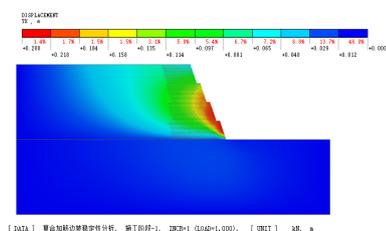


图 2 复合加筋挡墙的水平位移云图

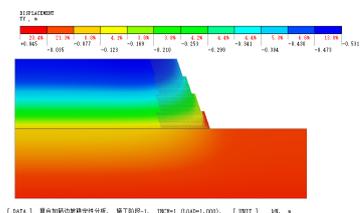


图 3 复合加筋挡墙的竖直位移云图

3.3 应力应变分析

轮胎条带挡墙最大剪应力值为 2.62MPa，复合加筋挡墙最大剪应力值为 1.73MPa，均出现在坡脚位置处，越靠近坡顶位置处其值越小。说明复合布筋方式可以明显改善填土内的剪应力分布，减少挡墙剪应力集中现象（见图 4）。

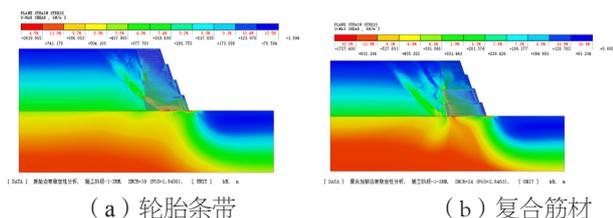


图 4 挡墙的最大剪应力云图

由塑性区分布图可看出，轮胎条带挡墙塑性区范围较窄，剪切带距离坡顶 43m，而复合加筋挡墙塑性区范围扩大，且贯通位置后移，剪切带距离坡顶 63m，说明玄武岩纤维筋和轮胎条带共同作用，有效地提供了抗拉力，阻止其滑裂面的贯通。挡墙的等效应变云图见图 5。

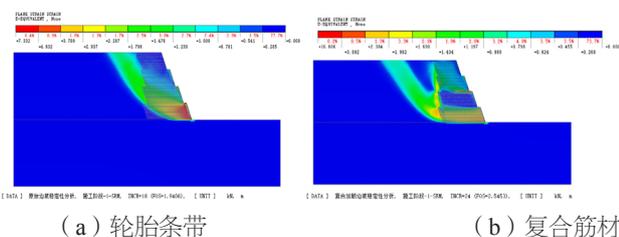


图 5 挡墙的等效应变云图

3.4 稳定性分析

根据《建筑边坡工程技术规范》，安全系数不应小于 1.35。对比分析未加筋、轮胎条带挡墙和复合加筋挡墙稳定性，安全系数如表 3 所示。未加筋时，挡墙安全系数为 1.05，不能满足规范要求，因此需要采用加筋方式来提高挡墙的安全性。复合布筋方式相比于仅布置轮胎条带，安全系数提高了 30.1%，说明复合加筋方式能有效地提高挡墙的稳定性。

表 3 挡墙的安全系数

类型	安全系数
未加筋挡墙	1.05
轮胎条带挡墙	1.94
复合加筋挡墙	2.54

4 结论

- ①筋材可有效地控制挡墙的变形，相比之下，复合筋材对控制挡墙变形效果更明显，能有效地提高挡墙的稳定性。
- ②复合布筋方式可以明显改善填土内的剪应力分布，减少挡墙剪应力集中。
- ③玄武岩纤维筋和轮胎条带共同作用，能有效地提供了抗拉力，阻止其滑裂面的贯通。

参考文献

- [1] HOLLING C S. Resilience and Stability of Ecological Systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973,4(4):1-23.
- [2] 夏乐. 挡土墙绿化技术综合研究 [J]. 北方交通, 2011(10):15-17.
- [3] 汤洪霞. 新型绿化挡土墙的受力机理分析及试验研究 [D]. 青岛: 青岛理工大学, 2014.
- [4] 李丽华, 任增乐, 李广信, 等. 复合加筋路堤边坡振动台模型试验 [J]. 西南交通大学学报, 2017,52(3):496-504.
- [5] 胡永建. 加筋土挡墙在防洪减灾护岸工程施工中的应用 [J]. 陕西水利, 2019(8):189-190.
- [6] 郑颖人, 赵尚毅. 有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004,23(19):3381-3388.