

加筋草皮护坡的抗冲性能试验

陈秀良¹, 钟春欣², 张 玮², 王志平¹, 应翰海²

(1. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020; 2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要 通过室内抗冲试验, 对采用天然草皮及三维植被网植草护坡坡面侵蚀的破坏机理进行分析, 并将这两种护坡形式的破坏程度分为微弱破坏、轻度破坏、中等破坏、完全破坏。试验表明, 在相同的水流条件下, 三维植被网加筋草皮较天然草皮具有更为良好的抗冲性能; 三维植被网可以阻止大于网眼尺寸的网下土块起动, 以及增强草间的侧向连续性。试验还表明, 植被生长密度和不均匀程度对草皮的抗冲性能具有显著影响, 植被覆盖度越高, 整个坡面抗冲性能越强。

关键词 植草护坡 护坡实验 加筋草皮 三维植被网

中图分类号: TV698.2+35

文献标识码: A

文章编号: 1006-764X(2006)S1-0071-03

在边坡防护工程中, 降雨及地表径流集中形成的坡面径流是坡面土体冲蚀的主要动力^[1-2]。采用三维植被网垫加筋材料是近年来出现的一种岸坡防护新技术, 因其成本低廉、施工便利及防护效果理想而被应用于各类边坡防护工程中^[3]。

近年来, 陈人豪等^[4]对三维植被网垫自身的结构性能开展了试验研究, 阐述了固土网垫植草防护技术的经济效益和社会效益; 李济群等^[5]通过对不铺网、铺平网和铺立体网 3 种不同条件下的水流冲刷沙土进行实验比较, 确认了立体网的防水冲刷性能的优越性; 陈析^[6]对三维植被网结合喷播建坪防护的施工技术、抗侵蚀作用以及经济成本进行了试验研究, 其结果表明采用该项技术的坡面土壤流失量不到纯草皮防护区的 20%。

从现有的研究成果来看, 由于对三维植被网植草防护的水动力学微观机理尚缺乏深入了解, 对其遭受水流侵蚀的破坏过程及相应的破坏标准亦无科学界定, 这就大大限制了进一步提高其防护效果的可行性以及该项护坡新技术的推广使用^[7-8]。本文拟就天然草皮及三维植被网植草护坡的抗坡面侵蚀性能开展试验研究, 在深入分析其破坏微观机理的基础上对这两种草皮的破坏过程和破坏标准作初步探讨。

1 三维植被网植草护坡法简介

1.1 草本植物在生态护坡工程中的应用

在岸坡防护工程中, 草被广泛地用于正常水位

以上区域的岸坡保护。植草的主要作用是阻扰水流保护岸坡, 以草根加固和约束土体。坡面侵蚀中土体冲蚀的强弱取决于坡面径流速度的大小, 草本植物分叶多, 丛状生长, 能够有效地分散、减弱地表径流, 而且还能阻截径流、改变径流流态, 从而能控制土壤颗粒流失。草皮可以为水流作用下的坡面提供良好的覆盖层, 表面草根形成了一层土/根的复合护面层, 增强了裸露基土的抗冲蚀能力, 同时草的深根锚固了基土^[9]。天然草皮自身的防护作用是有限的, 用土工织物或混凝土块加固, 可以提高草皮的抗冲性能, 称之为加筋草皮。常见的加筋方式有: ①柔性加筋, 如二维及三维土工织物; ②刚性加筋, 如混凝土块及混凝土格栅。

1.2 三维植被网植草护坡法的特点

三维植被网是以热塑性树脂为原料, 经挤出、拉伸等工序形成相互缠绕, 在接点上相互熔合, 底部为高模量基础层的三维立体结构网垫^[1]。由于网垫可以充填存储泥土和砂粒, 因而可以种植植被。利用三维植被网垫护坡具有固土性能优良、网络加筋作用突出、消能作用明显及保温功能良好的特点^[10], 可以应用于路堤边坡防护工程、河渠护岸工程以及海堤防护工程。

2 试验方法

2.1 试验材料

试验用土壤为堤岸工程中常用的山区红壤(黏

土类轻黏土) 物理性质指标见表 1。采用分层填充浇水密实的方法使土壤密度上下均匀,控制在 1.5 g/cm^3 左右。考虑到实际河道中水位变动以及降雨入渗对边坡土体强度及植被生存的影响,试验前将箱内土体及植被用静水淹没浸泡 48 h,使边坡土体充分浸润,则在冲刷时间内不计入降雨入渗时间。

表 1 试验土壤颗粒含量						
粒级/ mm	>0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.001	<0.001
含量/%	12.8	3.5	19.7	11.3	12.4	40.3

注 物理性砂粒($>0.01\text{ mm}$)的颗粒含量为 36%,物理性黏粒($<0.01\text{ mm}$)的颗粒含量为 64%。

试验植被选用耐淹性强且易于繁殖的狗芽根和高羊茅,按照狗芽根 75%、高羊茅 25% 的比例进行混播,生长期 2.5 个月,根系平均长度 $15\sim 20\text{ cm}$,植被平均高度 15 cm (经过修剪处理),在特制的模型箱内进行室外养护至试验要求。试验加筋材料选用 EM3 型绿色三维土工网垫,平均单位质量 260 g/m^2 ,平均厚度 0.012 m ,纵、横向平均拉伸强度均为 1.4 kN/m 。

试验用三维植被网加筋草皮(及天然草皮)试件的制备工序为:模型箱内充填土壤($\Rightarrow$ 铺网 $\Rightarrow$ 覆土) $\Rightarrow$ 播种 $\Rightarrow$ 前期养护。成草后的加筋草皮结构断面如图 1 所示。

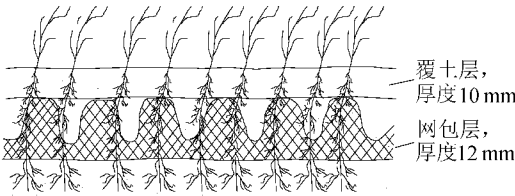


图 1 加筋草皮结构断面示意图

2.2 试验设计

本次试验考虑 1 种土壤类型,1 种淹没历时,天然草皮及三维植被网加筋草皮 2 种护坡形式,分别在 2 m/s 3 m/s 4 m/s 流速条件下进行室内坡面冲刷试验。试验设备由浅水泵、进水管线、压力表、阀门、喷嘴、PVC 板模型箱等构成,试验装置如图 2 所示。鉴于本次试验工作旨在探明植被护坡的破坏过程及

机理,并对有无设置加筋材料的护坡效果进行对比研究,故为试验操作简便起见,试验中不考虑坡度及坡长变化的影响,坡度设置为水平,坡长依据模型箱尺寸定为 0.7 m 。

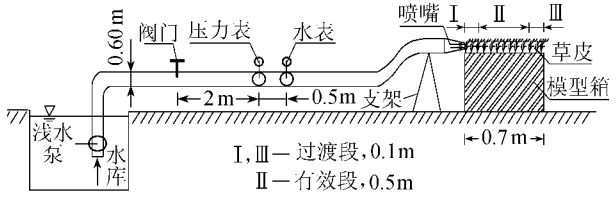


图 2 试验管线布置示意图

试验开始时调整好喷嘴位置,启动浅水泵,调节阀门至试验流速进行冲刷试验。试验中喷嘴出流为宽度 0.40 m 、厚度 0.10 m 的片状水流,用于模拟恒定的坡面薄层水流条件,属于非淹没流。

2.3 数据采集

数据采集时记录压力表稳定时的读数,以及冲刷开始和结束时的水表读数,并测定冲刷时间,由此计算出冲刷流速。试验中观察草皮的各种破坏阶段及具体情况,记录相应的试验现象。

3 试验结果与分析

3.1 两种草皮护坡的破坏阶段和评价标准

根据所观测试验现象,可以将天然草皮和三维植被网加筋草皮的破坏分为 4 个阶段,并对各破坏阶段给出定性的评价标准,见表 2。对天然草皮及三维植被网加筋草皮护坡破坏程度的初步探讨,有助于加深对其破坏机理的认识,以及明确两种草皮护坡形式的适用水流条件及可能造成的破坏程度,为草皮护坡设计提供理论依据。

3.2 天然草皮和加筋草皮的破坏极限

两种护坡形式的破坏阶段及评价标准以表 2 为依据,由试验数据给出各级流速下两种护坡形式的最终破坏程度,见表 3。以 3 m/s 的流速为例,天然草皮破坏程度最终达到了 IV 级,即 90% 以上的草被连根拔出冲走,而加筋草皮破坏程度最终仅达到 III 级,即少量根系较浅的草被连根拔出冲走,大部分草根系裸露,植被仍然存活。

表 2 天然草皮护坡、三维植被网加筋草皮护坡的破坏阶段及评价标准

破坏程度	天然草皮护坡	三维植被网加筋草皮护坡
I 级破坏 (微弱破坏)	植被完全倒伏,岸壁糙率减小,植物挑流作用减弱	植被完全倒伏,岸壁糙率减小,植物挑流作用减弱,覆土层细颗粒泥沙起动冲刷
II 级破坏 (轻度破坏)	覆土层细颗粒泥沙起动冲刷,草根部分裸露,植被仍然存活,影响景观效果	覆土层被完全冲刷,网包层外露,草根部分裸露,植被仍然存活,影响景观效果
III 级破坏 (中等破坏)	大量泥沙起动(含块状或团状泥沙),根系上粘附的土壤颗粒被冲刷,根系较浅的草被连根拔出冲走,大部分草根系裸露,植被仍然存活	网包层下小粒径(小于网眼)泥沙起动冲刷,根系上粘附的土壤颗粒被冲刷,少量根系较浅的草被连根拔出冲走,大部分草根系裸露,植被仍然存活
IV 级破坏 (完全破坏)	90% 以上的草被连根拔出冲走	90% 以上的草被连根拔出冲走,网包层下小粒径泥沙被淘刷殆尽,致使网包层悬空

表3 各级流速下两种护坡形式的最终破坏程度

护坡形式	最终破坏程度		
	2 m/s	3 m/s	4 m/s
天然草皮	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ
加筋草皮	Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ

此外,在天然草皮护坡冲刷试验中,曾观测到挑流顶冲区草皮及根系土壤整体沿水流方向发生滑移的现象,最大滑移距离达到7 cm。这是因为植被茎叶的局部挑流作用使得位于顶冲区的植被根部冲刷相对加剧,根部处细颗粒泥沙完全起动,同时在强大的水流拖曳力作用下,植被茎叶随水流发生强烈脉动,植被浅根渐渐被拔出,导致根系部分裸露,并带动根系上粘附的土壤一起向前滑移。但因深根仍锚固在土壤中,故滑移距离有限。而在三维植被网加筋草皮护坡冲刷试验中未观测到类似现象,这是由于植被根系紧紧缠绕在网包层中,限制了草的移动,即使在基土表层细颗粒泥沙完全起动的情况下也没有发生整体滑移现象。

由此可见,从最终的破坏程度来看,在相同的水流条件作用下,三维植被网加筋草皮较天然草皮具有更为良好的抗冲性能,即加筋材料能够有效提高天然植被的抗冲性能。试验还表明,以三维植被网为加筋材料的柔性加筋方式,可以通过阻止大于网眼尺寸的网下土块起动,以及增强草间的侧向连续性来达到增强防护的作用。

3.3 植被生长密度和不均匀程度的影响

无论是天然草皮还是加筋草皮,植被生长密度和不均匀程度对抗冲性能均有显著影响。在相同的水流条件下,覆盖程度高的草皮较覆盖程度低的草皮能抵挡更长时间的水流冲击。生长不均匀的草皮将因严重的局部破坏而加速整个草皮的破坏。

在2 m/s流速下的天然草皮冲刷试验中,草皮试件有一植被生长相对稀疏的区域(因播种不均造成),其植株密度为0.5株/cm²,正常区植被密度为2株/cm²。冲刷开始后仅3h就在该区域出现了最大深度3 cm、最大宽度约9 cm的冲刷坑,细颗粒泥沙完全起动,而此时其他区域仅有少量细颗粒泥沙起动。5h后冲刷坑已扩展至占整个试验区近一半的面积,试件草皮达到完全破坏(Ⅳ级破坏)。而生长均匀的草皮在相同流速条件下至少可以抵挡7h以上的水流冲击。

试验观测表明,泥沙起动首先发生在植被相对稀疏的土区。生长相对稀疏的草皮与邻近生长均匀的草皮相比具有更大的侧面接触水流,并遭受很高的局部水流曳引力,因此该区表层泥沙因草的掩护

作用减弱和局部水流条件的加强而率先起动,此时试验区内其余草皮尚处于发挥局部挑流作用阶段。在水流的持续冲刷下,该土区因水流作用的相对集中使得局部冲刷加剧,表层细颗粒泥沙完全起动,匍匐茎及根系部分裸露。由于生长稀疏的草的根系密度相对较小,根系对土壤颗粒的锚固作用也相对较弱,因此粘附在根系上的土壤颗粒亦很快随之起动,迅速形成小面积的冲刷坑。冲刷坑不断吞噬周边草区土壤,坑内水深不断增加,水流在坑内形成漩涡上下翻滚,将底层及周边草区的泥沙挟带至水面并迅速被水流带走,最终加速了整个草皮的破坏。

4 结 论

a. 根据植被的存活状况及基土的冲蚀情况,本文将天然草皮及三维植被网加筋草皮的破坏程度分为微弱破坏、轻度破坏、中等破坏和完全破坏。

b. 本次试验表明,三维植被网加筋草皮能显著提高坡面的抗冲性能,其防护作用体现在阻止大于网眼尺寸的网下土块起动,以及增强草间的侧向连续性。

c. 植被生长密度和不均匀程度对抗冲性能具有显著影响。植被生长相对稀疏的区域容易出现严重的局部冲刷,加速整块草皮的破坏。植被覆盖程度越高,整个坡面抗冲性能相应越强。

参考文献:

[1] 包承纲,唐燕燕.长江堤防加固工程中的一些技术问题[J].水利水电科技进展,2004,24(2):41-43.

[2] 李明珊.洞庭湖区防洪大堤护坡方式的改进[J].水利水电科技进展,2000,20(6):57-58.

[3] 何衢,陈德春.生态护坡及其在城市河道整治中的应用[J].水资源保护,2005,21(6):56-58.

[4] 陈人豪,李济群.固土网垫应用研究——铁路边坡铺网垫植草被防护试验[J].天津纺织工学院学报,1999,18(2):21-24.

[5] 李济群,杨春立.固土网垫防水冲刷性能研究[J].天津纺织工学院学报,2000,19(4):34-36.

[6] 陈析.新台高速公路加筋草皮护坡技术研究[J].公路交通科技,2001,18(2):97-100.

[7] 孙卫岳,郑海龙.生态护坡技术的试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(S1):10-14.

[8] 刘兰田.土石坝护坡草皮的栽植与管护[J].水利水电科技进展,1998,18(4):50-52.

[9] HEMPHILL R W, BRAMLEY M E. 河渠护岸工程[M].北京:水利水电出版社,2000:64-88.

[10] 周培德,张俊云.植被护坡工程技术[M].北京:人民交通出版社,2003:153-160.

(收稿日期:2005-11-30 编辑:骆超)