

网络出版时间:2014-03-26 17:09

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.04.024

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.04.024.html>

PP 织物袋梯田筑坎稳定性试验与研究

白振锋,李光录,李 想,张鹏鑫,刘 鹏,高 霞,朱首军

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】针对陕南秦巴山区梯田垮坎严重,石坎、混凝土预制件坎等难以大面积推广的现状,探索 PP 织物袋筑坎的稳定性,为 PP 织物袋梯田田坎在不同高度、坡度和降雨强度等各因素组合影响下的构筑提供参考。**【方法】**以 PP 织物袋梯田筑坎作为研究对象,坡度设置 $65^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 和 $70^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 2 个处理,每个处理分有连接扣和无连接扣共 4 个处理,并对各个处理的田坎设置坎高 1.0, 1.2, 1.4 m。对各处理分别在雨前和雨后进行试验,测定抗剪强度、抗滑力、抗倾覆力和土压力,然后分析各个处理的田坎稳定性。**【结果】**强降雨后,随着土压力的增大,PP 织物袋田坎剪切强度显著增加,抗倾覆稳定系数和抗滑稳定系数显著减小;增加连接扣后抗剪切作用明显;强降雨后,在无连接扣的条件下发生剪切破坏的可能性更大,主要集中在坎高 1.2~1.4 m 的第 2、3 层;在有连接扣的条件下,田坎的剪切破坏多发生在坎高 1.2~1.4 m 的第 3 层,而且坡度越大破坏发生的可能性越大;当 PP 织物袋田坎的坡度为 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 、坎高 ≥ 1.2 m 时,强降雨后容易发生滑动破坏,但基本不会发生倾覆破坏。**【结论】**PP 织物袋梯田田坎在坎高 ≤ 1.0 m、坎坡 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 时都是稳定的;在有连接扣的条件下,当坎高 ≥ 1.2 m、坎坡为 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 时,强降雨后更容易发生滑动破坏。

【关键词】 PP 织物袋;梯田;田坎;筑坎材料;田坎稳定性;陕南秦巴山区

【中图分类号】 TU432;S157.3⁺¹

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)04-0157-08

Stability of terraced ridges using polypropylene geotextile bags

BAI Zhen-feng, LI Guang-lu, LI Xiang, ZHANG Peng-xin,

LIU Peng, GAO Xia, ZHU Shou-jun

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** To prevent the collapse of terraced ridges in Qinba mountainous area and overcome the limitation in the popularization of ridges built with rocks or concrete, this study focused on the stability of ridges built with polypropylene geotextile bags (PP bags) and investigated the effects of ridge height, slope and rainfall intensity. **【Method】** PP bags ridges with two slopes, A (slope $65^{\circ}-70^{\circ}$) and B (slope $70^{\circ}-75^{\circ}$), were conducted. Each slope had two treatments with and without connecting buckles. Effects of three ridge heights, 1.0 and 1.2 and 1.4 m, were investigated, respectively. Anti-shear strength, sliding resistance, overturning force resistance and soil press of each treatment were measured before and after rain. **【Result】** After heavy rain, shear strength increased as the increase of soil press, in the contrary, anti-overturning strength and anti-sliding resistance coefficient were decreased. Buckles significantly increased the anti-shear strength. Without buckles, the ridges were more likely to collapse, especially in the second or third floor with ridge height of 1.2-1.4 m. With buckles, the collapse tended to happen in the

【收稿日期】 2013-04-11

【基金项目】 西北农林科技大学大学生科技创新项目(20110631);陕西省水土保持局重点科技示范项目(20101003);水利部科技推广计划项目(TG1308)

【作者简介】 白振锋(1989-),男,陕西神木人,助理工程师,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail:415140813@qq.com

【通信作者】 李光录(1964-),男,甘肃永靖人,副教授,博士,主要从事水土保持与土地利用研究。

E-mail:guangluli@nwsuaf.edu.cn

third floor with height of 1.2—1.4 m. When the slope was 65°—75° and the ridge height was ≥ 1.2 m, sliding was more likely to happen than overturning. 【Conclusion】 When the ridge height was less than 1.0 m, and the slope was 65°—75°, the PP bags ridges were stable while when the slope was 65°—75° and the ridge height was ≥ 1.2 m, the ridges were likely to collapse even with buckles.

Key words: polypropylene geotextile bags; terraces; ridges; ridges material; ridges stability; Qinba mountainous area

土坎梯田垮坎是影响陕西省秦巴山区坡改梯建设的关键问题^[1-2]。为此,当地采取了一系列预防梯田垮坎的措施,如建设塑料编织袋坎、石坎、混凝土预制件坎等,但这些措施或由于材料易风化,或由于建设成本过高、石料短缺以及开山取石易造成新的水土流失和形成新的环境问题等,尚难以大面积普及和推广^[3-5]。

PP 织物袋是由聚丙烯复合材料制成的土工织物袋,有使用寿命长、易于绿化、耐风化和环保等优点,前期调研和论证表明,PP 织物袋适宜于秦巴山区梯田建设,具有广泛的应用和推广前景,将其用于梯田筑坎不仅能提高工程质量、加快建设速度,而且可以有效解决梯田垮坎问题^[3,5]。李光录等^[4]对 PP 织物袋筑坎结构和坎型进行了理论研究,分析了坎高与坎坡的关系;高霞等^[5]对 PP 织物袋梯田筑坎的稳定性进行了理论计算,分析了坎高、坎坡与稳定性的关系。梯田田坎建设实际表明,PP 织物袋梯田筑坎的稳定性变化范围是该技术应用推广需解决的首要问题。为此,本研究通过模拟筑坎试验,实测了在不同降雨强度下 PP 织物袋田坎高度、坡度、抗剪强度、抗倾覆力、抗滑力及侧向土压力等指标的变化,以期确定出较为稳定的筑坎类型组合,从而为 PP 织物袋在梯田田坎建设中的推广应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 PP 织物袋的基本性质

PP 织物袋的基本性质测试指标包括单位面积质量、厚度、抗拉伸强度及抗撕裂力。各项测试试验依据中华人民共和国水利部批准发布的《土工合成材料测试规程》(SL/T 235—1999)^[6]完成,其中单位面积质量测定参照《土工织物的单位面积质量测定方法》(ISO9864—90)进行,厚度测定参照《土工织物厚度测定方法》(ISO9863—90)进行,条样法拉伸试验参照《用宽条法测定土工织物的拉伸特性》(ASTMD4595—86)和《土工织物-宽条拉伸试验》(ISO10319—93)进行,撕裂试验参照《土工织物梯形撕裂强度试验》(ASTMD4533-85)进行。试验测定

了 PP 织物袋在干燥状态下的单位面积质量和厚度,并分别测定了其在干燥和湿润状态下横、纵向的拉伸强度、伸长率和撕裂力^[7]。

1.2 试验设计与方法

通过对陕南秦巴山区已经建成的 PP 织物袋田坎的调查,发现 PP 织物袋梯田筑坎的破坏形式一般分为中部鼓出、底部滑塌和整体倾覆倒塌 3 种。以此作为试验设计的出发点和依据,通过在实验室模拟野外梯田田坎完成抗剪强度、抗倾覆力、抗滑力的试验测定,在陕南洋县野外实地测定侧向土压力^[8]。另外,本试验主要探讨的筑坎形式为单坎型的 PP 织物袋田坎。

1.2.1 PP 织物袋田坎的抗剪稳定性测定 陕南实地调查情况显示,现场布设的 PP 织物袋梯田田坎坡度多集中在 65°~75°,田坎高度主要在 1~1.5 m,田坎鼓出现象主要发生在田坎的中下部。针对此问题,抗剪试验设计 2 个坡度(65°~70°和 70°~75°),每个坡度设计 3 个高度(1.0,1.2,1.4 m),每个高度按有无连接扣设计 2 组抗剪试验。每组试验分 3 种情况进行:第 1 种情况抽拉第 2 层的织物袋(从靠近地面的 1 层数起,下同),共 1 个袋子;第 2 种情况抽拉第 2、3 层的织物袋,其中第 2 层 2 个,第 3 层 1 个,总共 3 个袋子;第 3 种情况抽拉第 2、3、4 层的织物袋,其中第 2 层 2 个,第 3 层 3 个,第 4 层 2 个,总共 7 个袋子,每次试验均重复 3 次,抽拉器械为拖拉机。抗剪稳定性计算方法如下:

$$E_{\text{抗剪强度}_t} = F_{\text{拉力}_t} \sum_{i=2}^{t+1} S_i \quad (1)$$

$$E_{\text{剪切强度}_t} = \sum_{i=2}^{t+1} (E_{h_i} S_i) / \sum_{i=2}^{t+1} S_i \quad (2)$$

式中: $E_{\text{抗剪强度}_t}$ 为第 t 种情况的抗剪强度(kPa); $E_{\text{剪切强度}_t}$ 为第 t 种情况的剪切强度(kPa); $F_{\text{拉力}_t}$ 为试验中第 t 种情况拉力计的读数(kN); t 为 3 种不同的情况,取 1,2,3; S_i 为第 i 层 PP 织物袋的受力面积(m^2),每个装土 PP 织物袋的受力面积为 0.12 m^2 ; E_{h_i} 为第 i 层 PP 织物袋 1/2 高度处的土压力(kPa); h_i 为第 i 层 PP 织物袋 1/2 处的高度(m),取 0.225,0.375,0.525; i 为 PP 织物袋的层数,取 2,3,4。

试验器材:粗绳 2 根,拉力计 2 只(LK-1 型拉力计,极限负荷 10 kN,最小分度值 200 N;LK-3 型拉

力计,极限负荷 30 kN,最小分度值 1 kN),木棒 2 根,拖拉机 1 台。试验过程见图 1。

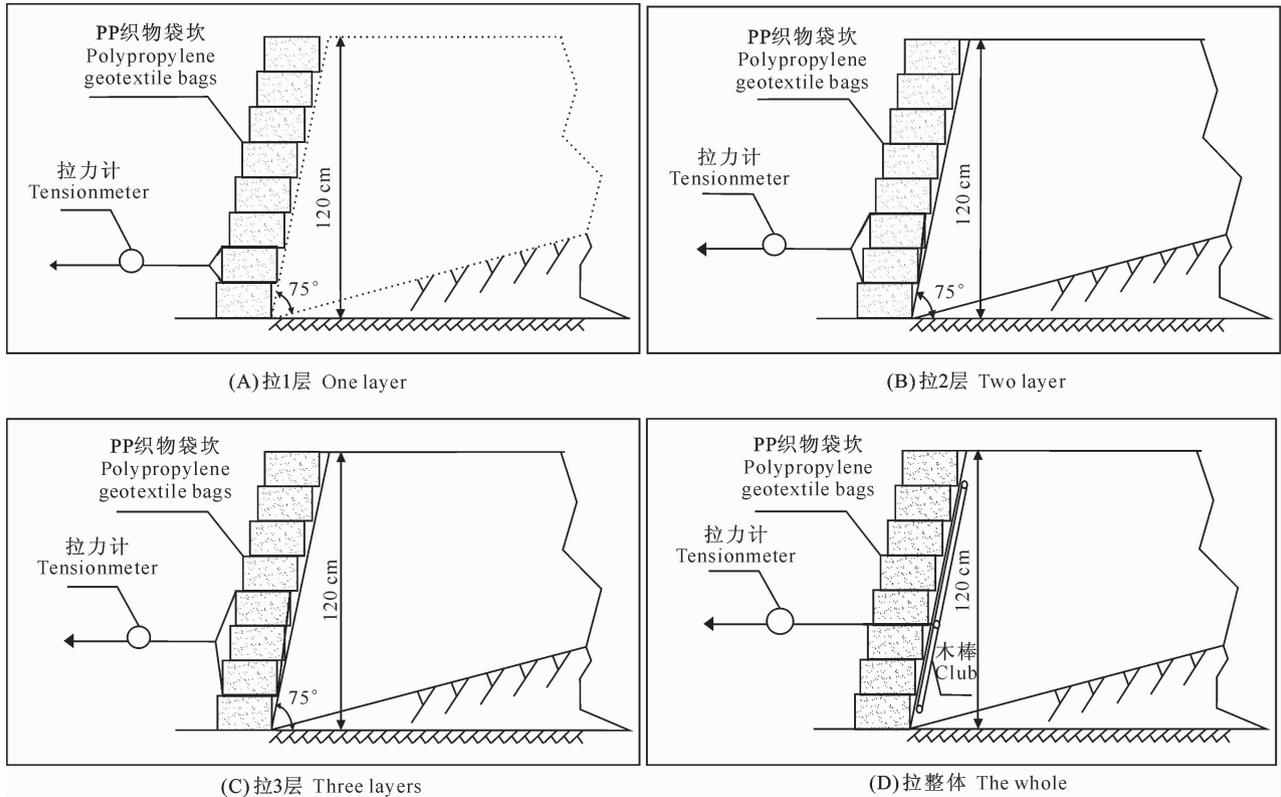


图 1 PP 织物袋田坎抗剪力、抗倾覆力测定过程示意图

Fig.1 The measurement process of anti-shearing force and anti-overturning force

1.2.2 PP 织物袋田坎的抗滑稳定性测定 田坎抗滑稳定性采用抗滑稳定系数(K_c)来衡量, K_c 可以通过抗滑力和滑动力来计算。基于试验的可操作性,抗滑力和滑动力不能通过试验直接测得,而是通过测定摩擦系数和土压力间接计算得到的。 K_c 计算方法^[9]如下:

$$K_c = \frac{\text{抗滑力}}{\text{滑动力}} = \frac{F_{\text{抗滑力}}}{E_{\text{滑动力}}} \quad (3)$$

$$F_{\text{抗滑力}} = (W + E_y) \times \mu \quad (4)$$

$$E_{\text{滑动力}} = E_x \quad (5)$$

式中: W 是 PP 织物袋田坎的重力(N),为装土袋的个数 \times 装土袋的平均质量(kg) \times 重力系数; μ 为基底摩擦系数,由试验确定,在黏性土基底上,干燥时 μ 为 0.55,潮湿时 μ 为 0.39; E_x 、 E_y 分别为土压力 E_A 在水平方向、垂直方向的分量(图 2), E_x 即为实测土压力, $E_y = E_A \cos \delta'$, $E_A = E_x / \sin \delta'$,其中 δ' 为偏斜角,取 $\delta' = \delta$ (δ 为摩擦角),虽然 δ' 较填土与墙背的摩擦角 δ 稍大,但这个偏差是允许的,根据经验取 $\delta = \frac{1}{2} \varphi$ ^[9],在洋县当地取原状土,通过直剪试验测得填土的内摩擦角 $\varphi = 16^\circ$ 。

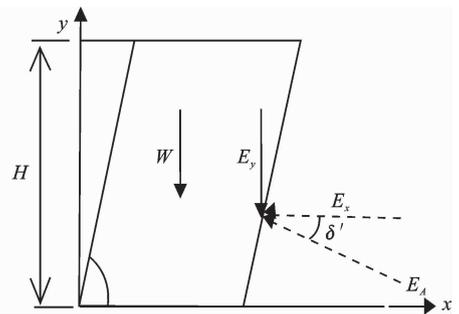


图 2 PP 织物袋田坎受力分析图

Fig.2 Stress analysis of the terrace ridge built with PP bags

1.2.3 PP 织物袋田坎的抗倾覆稳定性测定 试验设计 3 个坡度($65^\circ, 70^\circ, 75^\circ$),每个坡度设计 3 个高度(1.0,1.2,1.4 m),每个坡度段重复 3 次。PP 织物袋田坎抗倾覆稳定性试验布设与抗剪强度试验(图 1-D)类似,在田坎的背部加 2 根木棒,以田坎整体作为拉力对象,连接点在距田坎底部大约 $1/3H$ (即土压力的合力作用点处,其中 H 为田坎高度)处。用抗倾覆稳定系数评估田坎稳定性,抗倾覆稳定系数(K_q)按下式计算:

$$K_q = \frac{\text{抗倾覆力矩}}{\text{倾覆力矩}} = \frac{F_{\text{抗倾覆力}} \times \frac{1}{3}H}{E_{\text{倾覆力}} \times h} \quad (6)$$

$$E_{\text{倾覆力}} = E_A \quad (7)$$

式中: $F_{\text{抗倾覆力}}$ 为 PP 织物袋田坎的抗倾覆力, 与试验中的拉力是一对作用力与反作用力; H 为田坎高度; h 为 $E_{\text{倾覆力}}$ 的力臂, 取 $h = \frac{1}{3}H$ 。

1.2.4 田坎土压力的测定 试验在陕南洋县进行, 该地区土质多为黄褐土, 黏粒含量高, 胀缩性强, 遇水后土粒膨胀。沿着田坎深度从底层埋置土压力盒(型号 XS-186), 每隔 0.3 m 埋置 1 层, 每层埋置 3 个, 横向间隔 50 cm, 土压力计布置^[8]示意图见图 3。

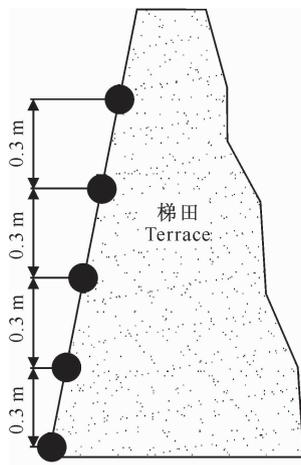


图 3 土压力计布置示意图

Fig. 3 Arrangement of the soil manometer

降雨前采集 1 次数据, 然后按 100 mm 的降雨量人工降雨(参照洋县气象站 2012-07-28 08:00—

08-01 08:00 最大连续降雨量为 109 mm, 也是洋县四郎乡 50 年来的最大降雨量, 折算成人工降雨量对供试梯田模型进行降雨)后采集 1 次数据, 之后每间隔 6 h 采集 1 次数据, 总共采集 7 次数据, 其中降雨后第 1 次采集的数据称为降雨后 0 h, 降雨后第 5 次采集的数据称为降雨后 30 h。

1.2.5 数据统计与分析 研究所用的基础数据由试验测定, 数据统计分析采用 Excel 和 SPSS 软件。PP 织物袋的力学性质测定采用多组重复试验, 结果分析采用重复方差分析法, 即通过计算标准差和变异系数, 确定数据的可行性, 然后对各指标数据求平均值。土压力数据则通过筛选求平均值, 然后采用一元回归分析法进行分析(相关系数良好)^[8-13], 其中剪切力、倾覆力和滑动力均是在土压力数据的基础上计算得到的。

根据剪切破坏的实际情况, 抗剪稳定性分析采取比较抗剪强度和剪切强度大小的方法, 抗剪强度(kPa)为田坎单位面积(m^2)上的抗剪力(kN), 剪切强度(kPa)为单位面积上的土壤剪切力(kN)。根据挡土墙设计原则, 抗滑稳定性和抗倾覆稳定性分析分别通过比较各自稳定性系数的大小进行, 其中满足稳定性要求的抗滑稳定系数 ≥ 1.3 , 抗倾覆稳定系数 ≥ 1.5 ^[9]。

2 结果与分析

2.1 PP 织物袋在干燥和湿润状态下的力学性质

由表 1 可见, PP 织物袋的横、纵向力学指标在干、湿状态下的测定结果有一定的差异。

表 1 PP 织物袋的力学性质

Table 1 Mechanic properties of PP polypropylene geotextile bags

状态 Pattern	单位面积 质量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) Average weight	厚度/mm Thickness	纵向 Longitudinal			横向 Lateral		
			拉伸强度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$) Tensile strength	伸长率/% Elongation ratio	撕裂力/kN Shear strength	拉伸强度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$) Tensile intensity	伸长率/% Elongation ratio	撕裂力/kN Shear strength
干 Dry	113.45	0.64	7.38	29	0.31	14.15	55	0.31
湿 Humid			9.72	29	0.29	12.69	63	0.04

2.2 PP 织物袋田坎的抗剪稳定性

PP 织物袋田坎是否达到抗剪稳定性需通过比较田坎抗剪强度和剪切强度的大小来确定。抗剪力和破坏田坎的实测拉力是一对作用力与反作用力, 剪切力为水平方向的土压力。田坎的受力面由多个 PP 织物袋的侧面组成, 每个装土 PP 织物袋的受力面积为 0.12 m^2 。抗剪破坏试验中所用拉力计的最小分度值为 0.2 kN , 所以换算成抗剪强度(kPa)时

的误差为: 第 1 层(1 个装土袋) 1.67 kPa , 第 2 层(3 个装土袋) 0.56 kPa , 第 3 层(7 个装土袋) 0.24 kPa 。PP 织物袋田坎抗剪稳定性的测定结果见表 2。由表 2 可以看出, 有连接扣时 PP 织物袋田坎的抗剪强度远大于无连接扣时的抗剪强度; 降雨后的剪切力比降雨前的剪切力大, 且剪切强度显著增大。降雨前, 抗剪强度在任意高度、坡度和有无连接扣的情况下均大于剪切强度, 所以田坎不会发生剪切破坏。

强降雨后,在无连接扣的条件下,发生剪切破坏的可能性更大,主要集中在 1.2~1.4 m 的第 2、3 层;在有连接扣的条件下,田坎的剪切破坏多发生在 1.2~1.4 m 的第 3 层,而且坡度越大,发生的可能性越大。通过推理,笔者认为 PP 织物袋田坎的剪切破坏程度在野外模拟中比实际生产过程中略微强

烈一些,主要原因可能是 PP 织物袋具有柔性,其在实际生产过程中受到田坎的主动土压力作用时会发生一定范围的收缩^[14],膨胀土吸水后的膨胀体积只要在 PP 织物袋的可收缩范围内就不会发生剪切破坏,而试验模拟过程中没有考虑 PP 织物袋的柔性。

表 2 PP 织物袋田坎抗剪稳定性测定结果

Table 2 The anti-shearing resistance of the terrace ridges with PP polypropylene geotextile bags

坡度/(°) Slope	连接扣 Buckles	坎高/m Height	层数 Layer number	抗剪强度/kPa Anti-shearing strength	剪切强度/kPa Shearing strength		
					降雨前 Before rain	降雨后 0 h Just after the rain	降雨后 30 h 30 hours after rain
65~70	无扣 No buckles	1.0	1	20.58±1.67	4.17	4.92	4.50
			2	8.92±0.56	3.92	4.64	4.22
			3	5.04±0.24	3.38	4.00	3.64
		1.2	1	21.75±1.67	7.42	11.08	9.42
			2	9.89±0.56*	7.03	10.56	8.97
			3	6.95±0.24*	6.27	9.40	8.00
		1.4	1	23.83±1.67	9.08	13.83	11.50
			2	10.39±0.56*	8.72	13.25	11.03
			3	8.11±0.24*	7.23	10.89	8.86
	加扣 With buckles	1.0	1	24.67±1.67	4.17	4.92	4.50
			2	13.08±0.56	3.92	4.64	4.22
			3	6.48±0.24	3.38	4.00	3.64
		1.2	1	28.00±1.67	7.42	11.08	9.42
			2	13.69±0.56	7.03	10.56	8.97
			3	7.86±0.24*	6.27	9.40	8.00
		1.4	1	32.75±1.67	9.08	13.83	11.50
			2	14.89±0.56	8.72	13.25	11.03
			3	9.45±0.24*	7.23	10.89	8.86
70~75	无扣 No buckles	1.0	1	20.25±1.67	4.42	5.25	4.83
			2	9.00±0.56	4.17	4.94	4.50
			3	4.98±0.24	3.60	4.25	3.88
		1.2	1	21.42±1.67	7.92	11.83	10.08
			2	9.72±0.56*	7.47	11.22	9.56
			3	6.87±0.24*	6.68	10.01	8.51
		1.4	1	23.75±1.67	9.67	14.75	12.25
			2	10.25±0.56*	9.28	14.11	11.72
			3	7.94±0.24*	7.85	11.67	9.50
	加扣 With buckles	1.0	1	24.67±1.67	4.42	5.25	4.83
			2	11.78±0.56	4.17	4.94	4.50
			3	6.11±0.24	3.60	4.25	3.88
		1.2	1	27.50±1.67	7.92	11.83	10.08
			2	13.53±0.56	7.47	11.22	9.56
			3	7.82±0.24*	6.68	10.01	8.51
		1.4	1	31.17±1.67	9.67	14.75	12.25
			2	14.89±0.56	9.28	14.11	11.72
			3	9.18±0.24*	7.85	11.67	9.50

注:表中带*的数值表示抗剪强度<剪切强度。

Note: * indicates that anti-shearing strength<shear strength.

2.3 PP 织物袋田坎的抗滑、抗倾覆稳定性

PP 织物袋田坎的抗滑、抗倾覆稳定性分别通过抗滑稳定系数 K_c 和抗倾覆稳定系数 K_q 来反映,

$K_c \geq 1.3$ 时满足抗滑稳定性要求, $K_q \geq 1.5$ 时满足抗倾覆稳定性要求。PP 织物袋田坎抗滑、抗倾覆稳定性测定结果见表 3。由表 3 可知,PP 织物袋田坎

坡度越小,坎高越低,抗滑、抗倾覆稳定系数越大,即田坎越稳定;反之,田坎坡度越大,坎高越高,抗滑、抗倾覆稳定系数越小,田坎也越不稳定。图 4 和图

5 反映了 PP 织物袋田坎在降雨前后不同坡度条件下抗滑稳定系数和抗倾覆稳定系数随着田坎高度的变化情况。

表 3 PP 织物袋田坎抗滑、抗倾覆稳定性测定结果

Table 3 Anti-sliding and anti-overturning stability of terrace ridges with polypropylene geotextile bags

坡度/(°) Slope	坎高/m Height	抗倾覆稳定系数 Anti-overturning stability coefficient			抗滑稳定系数 Anti-sliding stability coefficient		
		降雨前 Before rain	降雨后 0 h Just after the rain	降雨后 30 h 30 hours after rain	降雨前 Before rain	降雨后 0 h Just after the rain	降雨后 30 h 30 hours after rain
65	1.0	9.11	7.72	8.51	3.79	2.31	2.54
	1.2	4.73	3.07	3.77	2.45	1.16*	1.41
	1.4	2.92	1.90	2.33	1.88	0.89*	1.08*
70	1.0	8.32	7.05	7.77	3.45	2.10	2.31
	1.2	4.32	2.81	3.45	2.34	1.06*	1.29*
	1.4	2.67	1.74	2.13	1.79	0.82*	0.99*
75	1.0	7.59	6.41	7.09	3.15	1.92	2.11
	1.2	3.75	2.44	3.00	2.23	0.97*	1.18*
	1.4	2.28	1.50	1.82	1.70	0.75*	0.91*

注:表中带*的数值表示抗滑稳定系数<1.3。

Note: * indicates anti-sliding stability coefficient < 1.3.

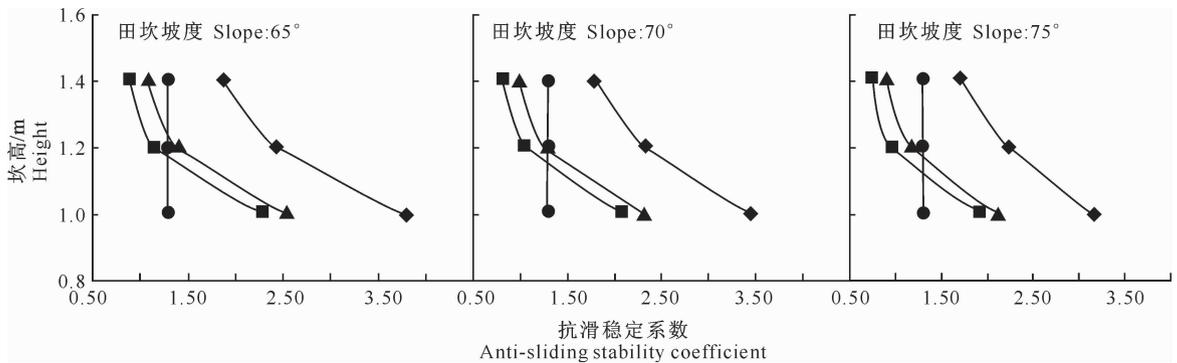


图 4 PP 织物袋田坎抗滑稳定系数随坎高和坎坡的变化规律

—◆—降雨前;—■—降雨后 0 h;—▲—降雨后 30 h;—●—界限系数 1.3

Fig. 4 Effects of ridge height and slope on anti-sliding index

—◆—Before rain;—■—Just after the rain;—▲—30 hours after rain;—●—Limit coefficient 1.3

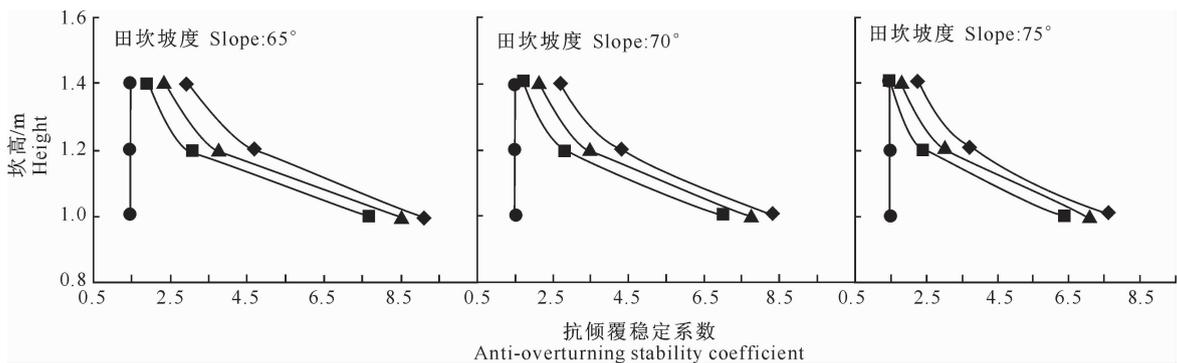


图 5 PP 织物袋田坎抗倾覆稳定系数随坎高和坎坡的变化规律

—◆—降雨前;—■—降雨后 0 h;—▲—降雨后 30 h;—●—界限系数 1.5

Fig. 5 Effects of ridge height and slope on anti-overturning index

—◆—Before rain;—■—Just after the rain;—▲—30 hours after rain;—●—Limit coefficient 1.5

降雨前,PP 织物袋田坎抗滑稳定性满足要求, 不会发生抗滑稳定性破坏;强降雨后,田坎在高度

≥ 1.2 m、坡度 $65^\circ \sim 75^\circ$ 内都可能发生抗滑稳定性破坏。降雨发生一段时间后,随着水分的散失,田坎抗滑稳定性逐渐增强。田坎坡度越大,坎高越高,越容易发生滑动破坏(图4)。分析田坎抗滑稳定性破坏发生在雨后的可能原因是雨后的土压力增大而引起滑动力增大,另外降雨后下垫面的摩擦系数减小,抗滑力减小,所以抗滑稳定性降低^[15]。

降雨前,PP 织物袋田坎任意坡度和高度均满足抗倾覆稳定性要求。强降雨后,PP 织物袋田坎抗倾覆稳定系数减小,即田坎抗倾覆稳定性降低,但在坡度 $65^\circ \sim 75^\circ$ 、坎高 $1.0 \sim 1.4$ m 内,抗倾覆稳定系数 ≥ 1.5 ,所以田坎基本不会发生抗倾覆稳定性破坏(图5)。抗倾覆稳定性模拟试验结果比较符合实际调研结果,由于抗倾覆模拟试验仍然没有考虑到 PP 织物袋的柔性,所以在实际生产过程中,PP 织物袋田坎的抗倾覆性系数可能更大。

3 结论与讨论

1)强降雨后随着土压力的增大,PP 织物袋田坎的剪切强度显著增加,抗倾覆稳定系数和抗滑稳定系数显著减小。

2)PP 织物袋田坎在筑坎过程中,有连接扣时的抗剪强度明显大于无连接扣时,抗剪切破坏作用明显。强降雨后,在无连接扣的条件下,发生剪切破坏的可能性更大,主要集中在坎高 $1.2 \sim 1.4$ m 的第2、3层;在有连接扣的条件下,田坎的剪切破坏多发生在坎高 $1.2 \sim 1.4$ m 的第3层,而且坡度越大,发生的可能性越大。

3)无论降雨前还是降雨后,田坎在坡度 $65^\circ \sim 75^\circ$ 、坎高 $1.0 \sim 1.4$ m 内,抗倾覆稳定系数 ≥ 1.5 ,不会发生倾覆破坏。

4)强降雨后,田坎在坎高 ≥ 1.2 m、坡度 $65^\circ \sim 75^\circ$ 内,抗滑稳定系数 ≤ 1.3 ,容易发生滑动破坏;但随着水分的散失,田坎抗滑稳定性逐渐增强。

综上所述,PP 织物袋梯田田坎在坎高 ≤ 1.0 m、坎坡 $65^\circ \sim 75^\circ$ 时都是稳定的;在有连接扣的条件下,当坎高 ≥ 1.2 m、坎坡 $65^\circ \sim 75^\circ$ 时,强降雨后更容易发生滑动破坏,所以用 PP 织物袋筑坎时,对于地基的处理很重要,应尽量增大基底摩擦系数。PP 织物袋梯田筑坎时也要考虑到降雨前后土压力的变化,尤其是在土壤性质属于膨胀土的地区,膨胀土对田坎的破坏,主要就在于膨胀土体中水分迁移变化而引起的土体积的膨胀效应。膨胀力是土体的体积受到限制时吸水后所产生的最大应力,所以在 PP 织

物袋梯田筑坎过程中,还必须考虑 PP 织物袋的柔性,只要膨胀体积在 PP 织物袋田坎的柔性收缩范围内,雨后随着水分的逐渐消失,土压力就不会对 PP 织物袋田坎造成破坏。另外,PP 织物袋田坎的稳定性和降雨强度有密切关系,一定类型的 PP 织物袋田坎只能抵抗一定降雨强度下的土压力,详细情况有待进一步研究和探索。

[参考文献]

- [1] 郑晓风. 秦州区梯田土坎稳定性及保护利用研究 [J]. 甘肃水利水电技术, 2009, 45(11): 62-63.
Zheng X F. Research in the stability and protection of terrace embankment in Qinzhou district [J]. Gansu Water Conservancy and Hydropower Technology, 2009, 45(11): 62-63. (in Chinese)
- [2] 王相国, 王洪刚, 王伟. 丘陵区梯田优化设计研究 [J]. 水土保持研究, 2010, 8(3): 125-127.
Wang X G, Wang H G, Wang W. Hilly terraces optimization design research [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 8(3): 125-127. (in Chinese)
- [3] 李光录, 柳诗众, 邓民兴, 等. PP 织物袋梯田筑坎技术在陕南秦巴山区的应用 [J]. 中国水土保持, 2011(11): 29-31.
Li G L, Liu S Z, Deng M X, et al. The application of polypropylene geotextile bags in Qinba mountainous area of south Shaanxi [J]. Soil and Water Conservation in China, 2011(11): 29-31. (in Chinese)
- [4] 李光录, 柳诗众, 邓民兴, 等. 陕南秦巴山区 PP 织物袋梯田筑坎结构和坎型研究 [J]. 中国水土保持, 2012(9): 44-45.
Li G L, Liu S Z, Deng M X, et al. Structure and model of terrace embankment applying polypropylene geotextile bags in Qinba mountainous area of south Shaanxi [J]. Soil and Water Conservation in China, 2012(9): 44-45. (in Chinese)
- [5] 高霞, 李光录, 柳诗众, 等. 陕南秦巴山区 PP 织物袋梯田筑坎稳定性分析 [J]. 水土保持, 2012(12): 21-22.
Gao X, Li G L, Liu S Z, et al. Stability analysis of embankment in Qinba mountainous area of south Shaanxi [J]. Soil and Water Conservation, 2012(12): 21-22. (in Chinese)
- [6] 中华人民共和国水利部. SL/T 235-1999 土工合成材料测试规程 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL/T 235-1999 Geosynthetic materials testing procedures [S]. Beijing: China Waterpower Press, 1999. (in Chinese)
- [7] 叶翠明, 徐永福, 邵介贤, 等. 环保节能型地基处理方法: 土工袋的性能分析 [J]. 土工基础, 2008, 22(1): 3-4.
Ye C M, Xu Y F, Shao J X, et al. A new environmental protection and energy-saving earth reinforcement method: Soil bags and its property [J]. Soil Engineering and Foundation, 2008, 22(1): 3-4. (in Chinese)
- [8] 肖衡林, 余天庆. 山区挡土墙土压力的现场试验研究 [J]. 岩土力学, 2009, 30(12): 3772-3775.

- Xiao H L, Yu T Q. Field experiment on earth pressure behind retaining wall in mountainous area [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2009, 30(12): 3772-3775. (in Chinese)
- [9] 蔡伟铭, 胡中雄. 土力学与基础工程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.
- Cai W M, Hu Z X. Soil mechanics and foundation engineering [M]. Beijing: China Building Industry Press, 1991. (in Chinese)
- [10] 黄振光, 董正威. 山区公路高挡墙稳定性分析的研究现状与不足 [J]. *西部探矿工程*, 2007, 19(9): 9-12.
- Huang Z G, Dong Z W. Stability analysis research of retaining wall built for high mountain area highway: Present situation and deficiencies [J]. *West-China Exploration Engineering*, 2007, 19(9): 9-12. (in Chinese)
- [11] 张翼, 闵乔. 挡土墙主动土压力分布研究 [J]. *城市道路与防洪*, 2010(2): 143-146.
- Zhang Y, Min Q. Distribution of active earth pressure of earth-retaining wall [J]. *City Road and Flood Control*, 2010(2): 143-146. (in Chinese)
- [13] 朱建强. 水分对膨胀土膨胀变形与膨胀压力的影响研究 [J]. *湖北农学院学报*, 1999, 19(2): 60-61.
- Zhu J Q. Water's effect on the swelling deformation and swelling pressure [J]. *Journal of Hubei Agriculture College*, 1999, 19(2): 60-61. (in Chinese)
- [13] 王元战, 王海龙, 张文忠. 挡土墙土压力分布 [J]. *中国港湾建设*, 2000(4): 1-5.
- Wang Y Z, Wang H L, Zhang W Z. Soil pressure distribution in abamurus [J]. *China Harbor Engineering*, 2000(4): 1-5. (in Chinese)
- [14] 廖文周. 刚性挡土墙支护膨胀土边坡的适用性探讨 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2009.
- Liao W Z. The adaptability of rigid retaining wall in swelling soil embankment [D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2009. (in Chinese)
- [15] 毕守一. 抗滑挡墙整体稳定参数敏感性的分析 [J]. *安徽建筑*, 2011, 18(1): 75-77.
- Bi S Y. Sensitivity analysis of overall stable parameters of sliding wall [J]. *Anhui Architecture*, 2011, 18(1): 75-77. (in Chinese)