

纤维水泥土抗拉强度的试验研究^①

莫永京^② 彭红涛

雷廷武

(中国农业大学水利与土木工程学院) (中国科学院水利部水土保持研究所)

杨素平 张心平

(中国农业大学水利与土木工程学院)

摘要 采用在水泥土中掺入纤维的方法获得了比水泥土抗拉强度和韧性更高的纤维水泥土。通过正交试验,建立了关于纤维水泥土抗拉强度与纤维掺量、长度间的数学关系。分析表明纤维水泥土抗拉强度随着纤维掺量和长度的增加而增加,且纤维掺量对纤维水泥土抗拉强度的影响比纤维长度的影响更大。

关键词 纤维; 水泥土; 抗拉强度

分类号 TU 442

Study on Tensile Strength of Fiber Soil Stabilization With Portland Cement

Mo Yongjing¹ Peng Hongtao¹ Lei Tingwu^{1,2} Yang Suping¹ Zhang Xinping¹

(1 College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU

2 Institute for Soil and Water Conservation, CAS and WRM)

Abstract The tensile strength and toughness of soil stabilization with portland cement mixed with fiber obtained is higher than those of the soil stabilization with portland cement. The regression on tensile strength with portland cement mixed with fiber was derived using orthogonal experiment. The tensile strength of fiber soil stabilization with portland cement was increased with dosage and length of fiber while the former was more effective than the latter.

Key words fiber; soil stabilization with portland cement; tensile strength

水泥土可广泛用于制作大坝护坡、灌溉渠道、蓄水池、管材、公路基层和底基等,但水泥土的强度一般不高,特别是抗拉强度较低,使水泥土的推广应用范围受到限制;因此,寻求提高水泥土抗拉强度的方法十分必要。笔者通过在水泥土中掺入纤维的办法,获得抗拉强度和韧性更高的纤维水泥土材料。

1 试验材料及方法

试验材料包括如下4种。

1)水泥。采用325号矿渣水泥,其抗压强度为6.8 MPa,抗折强度为36.3 MPa。

收稿日期:1999-05-16

①国家重点科技产业工程99-021-01-07项目

②莫永京,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)59信箱,100083

2)土料。从距地表 1 m 以下处取土,土料土质为轻壤土。在室内摊开风干,粉碎结块(避免压碎颗粒原状),用 5 mm 的筛子筛去僵块、石子和其他杂质。根据《土工试验规程》(SDS01—79,中华人民共和国水利电力部)中关于“土-006-78 颗粒大小分析试验”的规定,进行土样颗粒分析,其结果如表 1 所示。

表 1 颗粒分析结果

粒径/mm	砂粒				粉粒		粘粒	
	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.10	0.10~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	<0.005	<0.001
质量分数/%	0.48	1.42	21.10	30.10	32.90	3.80	10.20	4.08

3)纤维。所采用耐碱玻璃纤维的主要物理性能如下:玻璃线密度 $2.78 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}$;单丝直径 $(13.16 \pm 1.5) \mu\text{m}$;纱密度 $300 \sim 2\,400 \text{ tex}$;抗碱浸润剂质量分数为 $1.0\% \sim 2.0\%$;含水率小于 0.1;硬挺度大于 160 mm;软化点温度 $860 \text{ }^\circ\text{C}$ 。耐碱性能指标如下:经 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液浸泡 4 h 后单丝强度保留率 $>85\%$,直径缩小率 $<10\%$;在 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 的质量分数为 10% 的 NaOH 溶液中浸泡 1 h 后质量减小率 $<5\%$ 。耐碱短切纱用于水泥土成型的长度为 5, 7 和 9 cm。

4)水泥土。取水泥掺量(以质量分数计) 10% 、水泥土含水率 14.4% 、干密度 $1.77 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,制备水泥土混合料。

试验方法如下:纤维水泥土抗拉强度的试件采用挤压法成型^[1]。制试件时,在 $7.07 \text{ cm} \times 7.07 \text{ cm} \times 7.07 \text{ cm}$ 抗拉试模内一边撒下配制好的水泥土混合料,一边放进散开的占水泥土中 $n\%$ 的纤维。用压力机以 $1.5 \sim 2.0 \text{ kN}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度慢慢将混合料全部压入试模内,稳定 30 s 后拆模,用塑料薄膜封盖严密,待 2~3 h 后进行编号,装入塑料袋密封,放在标准养护室内,让其靠自身成型水分养护。将达到 28 d 龄期的试件,提前 1 d 从养护室内取出,放入水中浸泡 24 h,进行抗拉试验前从水中取出,用湿毛巾覆盖,防止水分散失。

劈裂拉伸试验采用的垫条截面为 $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 。用压力机以 $0.2 \sim 0.3 \text{ kN}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度连续而均匀地加荷(不得冲击),直至试件破坏。劈裂抗拉强度采用下式计算^[2]:

$$\sigma_{28d} = 0.637F/a^2 = 127.4385F$$

式中: σ_{28d} 为 28 d 试验龄期的劈裂抗拉强度,MPa; a 为试件边长,m; F 为破坏荷载,MN。

2 试验方案及结果分析

未掺入纤维的水泥土劈裂抗拉强度试验结果如下——抗拉强度 σ/MPa :第 1 次,0.113;第 2 次,0.116;第 3 次,0.115;取值,0.115。

为了研究纤维水泥土的抗拉强度,并建立纤维的掺量、长度与强度指标间的关系,采用正交试验法。因素水平取值如表 2 所示。对纤维掺量和长度各取 3 种水平进行正交试验,试验方案和结果列于表 3 中。表 4 为正交试验多元线性回归分析。

表 2 抗拉强度试验的因素水平

水平	因素	
	纤维掺量/%	纤维长度/cm
1	0.10	5
2	0.15	7
3	0.20	9

表3 正交试验方案和结果

试验编号	方 案		结 果			
	纤维掺量/ %	纤维长度/ cm	抗拉强度/MPa			
			第1次	第2次	第3次	取值
1	1(0.10)	1(5)	0.147	0.140	0.147	0.145
2	1	2(7)	0.147	0.147	0.152	0.149
3	1	3(9)	0.147	0.152	0.152	0.150
4	2(0.15)	1	0.142	0.150	0.152	0.148
5	2	2	0.147	0.166	0.140	0.151
6	2	3	0.150	0.154	0.152	0.152
7	3(0.20)	1	0.155	0.153	0.154	0.154
8	3	2	0.152	0.159	0.152	0.154
9	3	3	0.161	0.157	0.159	0.159

说明:取3次试验测定值的平均值作为该试验编号试件抗拉强度的试验结果取值。当其中某次的测定值与平均值之差大于±15%时,应剔除该值,取剩余2次试拉值的平均数作为试验结果,如3次可用的试验结果少于2个时,则该编号试验须重做。

表4 正交试验多元回归分析

方差来源	平方和	自由度	方差	F	显著性
回归	0.000 138 66	2	0.000 069 33	36.047 573	高度显著
误差	0.000 011 54	6	0.000 001 923		
总和	0.000 150 20	8			

$$F_{0.01}(2,6)=10.92$$

运用正交回归试验数据处理方法,得到回归方程

$$y=0.130\ 114+0.079\ 998\ 97x_1+0.001\ 333\ 316x_2 \quad (1)$$

式中: y 为抗拉强度,MPa; x_1 为纤维掺量,%; x_2 为纤维长度,cm。此回归方程在 $\alpha=0.01$ 水平上很显著,相关系数为0.961。

据方程(1)中各项回归系数绝对值的大小直接判断出纤维掺量对纤维水泥土的抗拉强度影响较大,纤维长度对纤维水泥土的抗拉强度影响相对较小;由于方程(1)中的回归系数均为正值,所以在考察范围内,纤维水泥土的抗拉强度随着纤维的掺量和长度的增加而增加。

3 纤维水泥土的抗拉强度

3.1 纤维水泥土的抗拉强度与纤维掺量和长度的关系

图1为纤维水泥土的抗拉强度与纤维掺量和纤维长度的关系曲线。可以看出:未掺入纤维的水泥土抗拉强度为0.115 MPa,在考察范围内,掺入纤维的水泥土,其抗拉强度比未掺入纤维的高;当纤维长度为9 cm,纤维掺量为0.2%时,纤维水泥土的抗拉强度为0.159 MPa,比未掺纤维的水泥土的提高38%。

3.2 纤维增强原理

在水泥土中掺入一定量纤维后,随着水泥土强度的增大,水泥土与纤维之间的粘结力也逐

渐增大。这种粘结力主要由2部分组成:因水泥土固结硬化收缩,将纤维丝紧紧握固而产生界面间的摩擦力。纤维丝在配制成纤维水泥土过程中是随机分布的,大部分纤维丝在土体中不呈直线状态,与水泥土产生一定的机械咬合作用。当水泥土受到拉力,在土体薄弱处出现裂缝,在开裂瞬间,裂缝截面处的水泥土不再承受拉力,纤维丝受到的拉力突然增大,由于水泥土与纤维丝间存在粘结力,使得水泥土体裂缝的继续扩展受到约束,从而增加了水泥土体的抗拉强度和韧性。

图2为纤维水泥土试件的劈裂破坏照片。从纤维水泥土试件劈裂破坏后的形态看,试件破坏界面上的纤维被拉出并断裂。这是因为当纤维水泥土试件内出现裂缝后,水泥土基体不再承受拉力,拉伸荷载由裂缝界面垂直方向的纤维承受,纤维通过粘结力和机械咬合力将拉应力传递给基体,调整了水泥土土体内的应力分布,限制了水泥土中局部裂缝的扩展,因而提高了水泥土的韧性。随着作用在纤维水泥土上试件的荷载的增大,水泥土的裂缝不断增加,作用在水泥土中纤维上的拉应力逐渐增加,纤维有的断裂,有的由于与水泥土的粘结力和机械咬合力小于拉应力而被拉出,直至整个试件破坏。

4 结束语

1)在考察范围内,纤维水泥土的抗拉强度比未掺纤维的水泥土的高。当纤维长度为9 cm,纤维掺量为0.2%时,纤维水泥土的抗拉强度比未掺纤维的水泥土提高38%。

2)在考察范围内,纤维水泥土的抗拉强度随着纤维掺量和长度的增加而增加,且纤维掺量对纤维水泥土抗拉强度的影响比纤维长度的影响更大;因此,为了提高水泥土的抗拉强度,在结构物断面尺寸和施工工艺所允许的范围,应优先选用较长的纤维。

3)纤维对抵抗水泥土开裂起了一定作用,提高了水泥土的韧性。

参 考 文 献

- 1 肖林,王春义,郭汉生. 建筑材料水泥土. 北京:水利电力出版社,1987. 251~259
- 2 朱云鹏,杨素平. 水泥土抗压强度的试验研究. 北京农业工程大学学报,1994,14(1):103

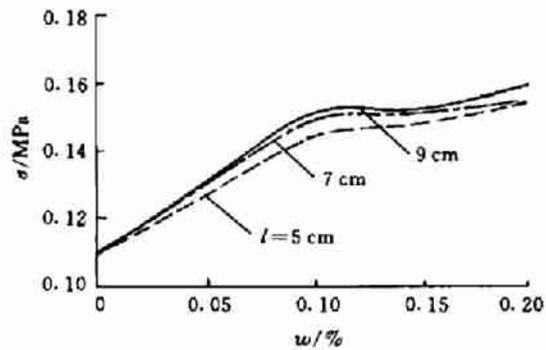


图1 纤维水泥土抗拉强度 σ 与纤维掺量 w (以质量分数计)和长度 l 的关系



图2 纤维水泥土试件的劈裂破坏