

[文章编号] 1003—4684(2022)02-0086-04

PVA/玄武岩纤维增强水泥砂浆性能试验研究

周 颖,胡春华

(湖北工业大学土木建筑与环境学院,湖北 武汉 430068)

[摘 要] 掺加聚乙烯醇(PVA)纤维或者玄武岩(BF)虽可改善水泥砂浆的物理力学性能,但有一定局限性。为得到性能更优的复合材料,将两种纤维混掺入水泥砂浆中。在总体积掺量不变的条件下,设计了两种纤维以不同配比混掺的试验组 $S_3 \sim S_9$ 与不掺加纤维、单掺 PVA 纤维和单掺 BF 纤维的对照组 S_0 、 S_1 和 S_2 对比试验方案。进行了单掺纤维以及两种纤维按不同比例混掺对水泥砂浆的流动性、强度、韧性以及干燥收缩性能试验。测试结果表明:将 PVA 纤维与 BF 纤维以恰当比例加入到水泥砂浆中,对其综合性能有很大提高;本试验条件下,纤维掺量比为 $V(PVA):V(BF)=2:3$ 时最佳。

[关键词] 聚乙烯醇纤维;玄武岩纤维;纤维混杂比;力学性能

[中图分类号] U416 [文献标识码] A

随着单掺纤维增强水泥基复合材料的研究应用,发现单掺纤维对水泥复合材料的增强增韧效果是有局限性的^[1]。而混杂纤维水泥基复合材料能使纤维发挥协同效应,获得具有不同纤维优势的新型复合材料,因此受到越来越多人的青睐。目前国内学者对以钢纤维和 PVA 纤维进行混杂的研究居多^[2-3],但是钢纤维成本较高,易腐蚀,且因密度大振捣浇筑时易下沉导致分布不均匀等问题。而玄武岩纤维是一种由天然火山岩生产,原材料利用率高,成本低廉的环保纤维。玄武岩纤维的掺入能够提高水泥基复合材料的抗折抗拉强度,增强构件的抗冲击性能^[4-5];还能改善基材的耐久性^[6-7],并且与砂浆有良好的相容性^[8]。胡星宇^[9]研究得出纤维掺量是影响强度和韧性的主要因素;于海洋^[10]等通过改变玄武岩纤维掺量,对 PB-SHCC 材料弯曲性能进行了研究,并对韧性做出评价,这对研究 PVA-玄武岩纤维的研究应用打下基础。因此,本文通过试验探究 PVA 纤维和玄武岩纤维以分别单掺和不同掺量比混掺对水泥砂浆流动性、强度、韧性和干缩性能的影响,从而得出最佳混掺纤维配比。

1 试验

1.1 试验材料

- 1)本试验所用 P.O42.5 级硅酸盐水泥由湖北某建材有限公司生产,其化学组成如表 1 所示。
- 2)标准砂由厦门某标准砂有限公司按照 GB/T

17671—1999 生产的标准砂。

3)相关性能参数见表 2。

表 1 普通硅酸盐水泥的化学组成 %

组成	含量	组成	含量	组成	含量
SiO ₂	20.35	Fe ₂ O ₃	2.93	MgO	2.78
CaO	59.67	Al ₂ O ₃	4.86	SO ₃	2.47

表 2 相关性能参数

	纤维种类	
	PVA 纤维	玄武岩纤维
长度/mm	12	6
直径/ μm	35	17.4
密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.3	2.7
弹性模量/GPa	37.5	90~110
抗拉强度/MPa	1500	3000~4500
拉伸率/%	7	
断裂延伸率/%		≥ 2.5

4)减水剂

本试验所用减水剂来自邓州市某有限公司生产的萘系高效减水剂,减水率 $\geq 14\%$ 。

1.2 试验设计

试验设计包括有不掺加纤维的水泥砂浆试样 S_0 、单掺 0.5% 体积掺量 PVA 纤维的水泥砂浆试样 S_1 、同等体积掺量下单掺玄武岩纤维水泥砂浆试样 S_2 以及以总体积掺量不变,以不同比例混掺的增强水泥砂浆试样 $S_3 \sim S_9$ 。水泥砂浆试样的配比如表 4 所示。减水剂掺量为水泥质量的 0.7%。表 3 的试样 $S_3 \sim S_9$ 数据显示混掺水泥砂浆中 PVA 纤维与玄

[收稿日期] 2021—03—25

[基金项目] 武汉市城建委科技计划项目(201805)

[第一作者] 周 颖(1994—),女,湖北荆州人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为市政工程

武岩纤维体积之比为 3 : 1、2 : 1、3 : 2、1 : 1、2 : 3、1 : 2、1 : 3。

表 3 纤维增强水泥砂浆配合比

编号	m(水泥): m(砂):m(水)	PVA 纤维体 积掺量/%	BF 纤维体 积掺量/%
S ₀	1 : 1.5 : 0.35	0	0
S ₁	1 : 1.5 : 0.35	0.50	0
S ₂	1 : 1.5 : 0.35	0	0.50
S ₃	1 : 1.5 : 0.35	0.375	0.175
S ₄	1 : 1.5 : 0.35	0.33	0.17
S ₅	1 : 1.5 : 0.35	0.30	0.20
S ₆	1 : 1.5 : 0.35	0.25	0.25
S ₇	1 : 1.5 : 0.35	0.20	0.30
S ₈	1 : 1.5 : 0.35	0.17	0.33
S ₉	1 : 1.5 : 0.35	0.175	0.375

1.3 试验方法

将称量好的水泥、标准砂、减水剂等干料放入搅拌锅低速干拌两分钟,在搅拌的同时将事先称好的纤维一点点掺入搅拌锅,让纤维在其中混合均匀。之后再再将称好的水加入搅拌锅中,再换高速搅拌两分钟即可,最后浇筑成 40 mm×40 mm×160 mm 规格的试块,按规范进行养护成型。按《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70—2009 规范测定砂浆稠度和干燥收缩,其他成型试件通过微机伺服抗折抗压试验机测试强度。

2 结果与讨论

2.1 混掺纤维对水泥砂浆流动性的影响

通过图 1,可得在固定纤维体积掺量不变的条件下,单掺纤维的稠度值对比情况是:S₂<S₁<S₀;而以不同比例混掺的砂浆流动性是随着 PVA 纤维掺量减小,BF 纤维掺量增大,呈现出先增大后减小的趋势,当 V(PVA) : V(BF)=1 : 1 时,稠度值最高,此时流动性最好。纤维掺入砂浆导致其流动性降低的主要原因是大量的纤维被加入砂浆中搅拌后,互相交错分布,对砂起到承托作用,减缓了骨料因自身重力作用下沉引起与砂浆水离析。纤维在基体内随机分布,形成致密交叉的网状结构,在基体内对水泥、砂等骨料起到骨架作用,降低了原有基体材料颗粒表面的析水和细集料的离析,材料的保水性得到一定的改善。所以在混掺纤维时要保证纤维掺量合适,让砂浆仍能达到较好的流动度,以便于施工。

2.2 混掺纤维对水泥砂浆力学性能的影响

分别单掺纤维和同等掺量下以不同比例混掺纤维的水泥砂浆 7 d 和 28 d 的强度试验结果分别见图 2 和图 3。折压比结果见图 4。

1)通过图 2 可知,单掺 PVA 纤维的水泥砂浆

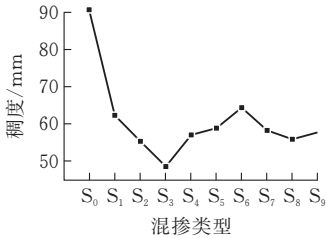


图 1 不同混掺类型对稠度值的影响

试样 S₁与空白组 S₀相比较,7 d、28 d 抗折强度分别提高了 14.84%、19.85%,单掺 BF 纤维的水泥砂浆试样 S₂与空白组试样 S₀相比较,7 d、28 d 抗折强度分别提高了 8.73%、7.91%。而在混掺纤维试验组中,当混掺纤维比例是 V(PVA) : V(BF)≥1 : 1 时,即试块 S₃~S₆组混掺,随着 PVA 纤维体积掺量的减小,BF 纤维体积掺量增加,7 d 龄期试块的抗折强度基本呈现上升趋势,28 d 龄期时试块的抗折强度呈现下降趋势。但是相较于空白组,7 d 和 28 d 抗折强度都有提高;而对比单掺纤维时,两种纤维的混杂水泥砂浆抗折强度介于单掺 PVA 纤维和单掺玄武岩纤维的试块之间。当混掺纤维比例是 V(PVA) : V(BF)<1 : 1 时,即试块 S₇~S₉组混掺,随着 PVA 纤维体积掺量增大,BF 纤维体积掺量减小,试块的 7 d 和 28 d 抗折强度呈现降低趋势。其中,S₇试块的 28 d 抗折强度相比空白组增加最多为 27.61%。

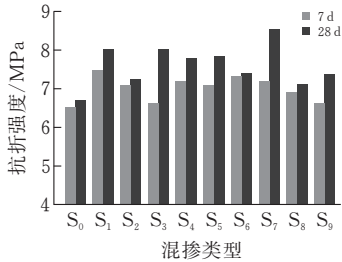


图 2 不同混掺类型对抗折强度影响

2)通过图 3 可知,单掺 PVA 纤维水泥砂浆 7 d、28 d 抗压强度相比不掺加纤维的水泥砂浆分别提高了 7.39%、6.61%;单掺 BF 纤维的水泥砂浆试样 S₂的 7 d、28 d 抗压强度相较于不掺加纤维的水泥砂浆分别提高了 2.13%、10.88%。单掺 PVA 能稳定增强砂浆的抗压强度;而单掺 BF 纤维水泥砂浆在前期强度提高不显著,但是后期强度能显著提高。在七组不同比例混掺的试块中,S₅和 S₇组的 28 d 抗压强度最佳,相较于空白组 S₀,分别提高了 15.07%和 15.04%;而其他组的抗压强度虽然也比空白组稍微增大,但是相较于单掺 PVA 纤维时的要偏低。并且发现单掺玄武岩纤维对水泥砂浆前期抗压强度的影响不大,但是当两种纤维以适当的比例混掺时,就可以显著提高抗压强度,而且后期强度增大更为

明显,这可能是因为玄武岩纤维掺量过高,吸附了部分水影响了早期的水泥水化反应,从而影响了早期的强度。

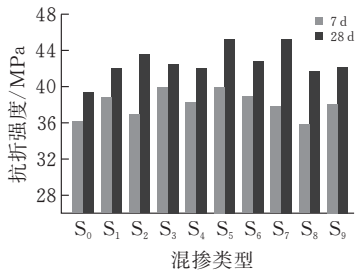


图 3 不同混掺类型对抗压强度影响

3)通过图 4 可知,7 组不同比例混掺纤维的水泥砂浆试样 $S_3 \sim S_9$ 折压比相比较空白组都有提升,相较于单掺 PVA 纤维提高不显著。在混掺纤维中,当 $V(\text{PVA}):V(\text{BF}) \geq 1:1$ 时,即 $S_3 \sim S_6$ 组试块 7 d 折压比逐渐上升,而 28 d 折压比逐渐下降;当 $V(\text{PVA}):V(\text{BF}) < 1:1$ 时,7 d 和 28 d 水泥砂浆试块折压比是先上升再下降的趋势,7 d 龄期时的折压比比 28 d 时的大。其中, S_7 试块组的 28 d 时的折压比最高,相较于空白组提高了 21.10%。一般说来折压比能够反映砂浆的韧性,砂浆折压比越大其韧性也就越好,抗弯拉强度越高,抗开裂性能越强^[11]。因此,掺加适量的两种纤维到水泥砂浆中,能增强砂浆的强度以及韧性,提高砂浆的抗裂性。

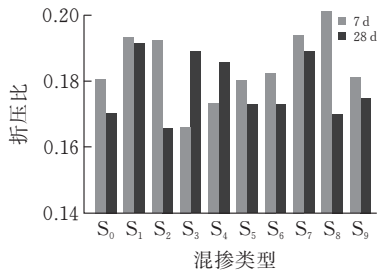


图 4 不同混掺类型折压比结果

2.3 混掺纤维对水泥砂浆干燥收缩性能的影响

根据图 5 可以明显看出:整个收缩应变曲线的收缩发展主要发生在前 28 d,在 28 d 之后收缩发展趋势趋于平缓。单掺纤维或者混掺纤维都能够明显改善收缩应变,减小砂浆因干燥收缩而导致的裂缝。在单掺纤维时,水泥砂浆的抗干缩性能结果比较是 $S_2 > S_1 > S_0$ 。单掺玄武岩纤维的水泥砂浆抗干缩能力之所以比单掺 PVA 时强,是因为在同等掺量下,短的玄武岩纤维相比长的 PVA 纤维更易于均匀分散到水泥基体中,从而减少内部水分散失的通道,降低内部毛细孔中的收缩应力。而在 7 组混掺纤维的试验中,各组对应龄期的干缩应变值,对比相同龄期下的单掺纤维的干缩应变有明显减小;不同混杂比例的纤维水泥砂浆之间的干缩应变值之间也存在着

一些差异。相对来说, S_7 试验组在各龄期的收缩应变值最小,也就是说此时砂浆的抗裂性能最好。干燥收缩会使砂浆产生大量裂缝的原因是,水泥基材料硬化后,砂浆内部产生的各种拉应力超过了抗拉强度^[12]。所以砂浆中掺入适量的两种纤维,使其均匀分散在水泥基材中,能减少水泥砂浆内部因干燥收缩产生的各种拉应力,从而减少裂缝的产生和发展,发挥出有效的阻裂作用。

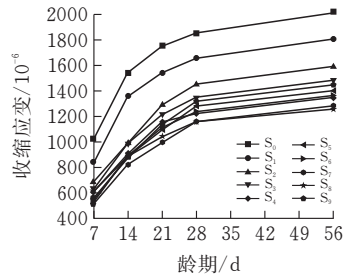


图 5 不同混掺类型对干缩应变的影响

3 结论

综合上述对比单掺纤维以及按不同比例混掺纤维对水泥砂浆流动性、强度、韧性以及干燥收缩性试验结果分析,可以得出以下几点结论:

1)混掺纤维对水泥砂浆的流动性发热影响基本介于单掺 PVA 纤维和单掺玄武岩纤维之间,增强了砂浆的保水性,避免砂浆发生泌水现象。

2)混掺纤维能够获得比单掺纤维更好的效果,且后期强度增大更为显著,并能有效增强水泥砂浆的韧性,当 PVA 纤维与 BF 纤维的体积掺量之比为 2:3 时,增强效果最佳。

3)混掺纤维可以进一步提高水泥砂浆的抗干缩性能,从而提高水泥砂浆的抗裂性能,减少裂缝的产生,当 PVA 纤维与 BF 纤维体积掺量之比为 2:3 时,整体抗干缩效果最佳。

[参 考 文 献]

[1] 王成启,吴科如.混杂纤维水泥基复合材料及其应用[J].工业建筑,2002(9):51-53.
[2] KEUN-HYEOK YANG. Tests on concrete reinforced with hybrid or monolithic steel and polyvinyl alcohol fibers[J]. Materials Journal,2011,108(6).
[3] 海然,刘俊霞,张茂亮,等.钢-聚乙烯醇混杂纤维超高性能混凝土性能研究[J].混凝土,2016(5):95-97+101.
[4] 邓宗才,薛会青.玄武岩纤维混凝土的抗弯冲击性能[J].建筑科学与工程学报,2009,26(1):80-83.
[5] 成涛华,李玉香.玄武岩纤维增强混凝土力学性能研究[J].混凝土与水泥制品,2017(1):53-56.

[6] 刘华挺,张俊芝,傅招旗,等.短切玄武岩纤维混凝土构件抗氯盐侵蚀试验[J].混凝土,2011(1):14-15.

[7] ZHAO Y R, WANG L, LEI Z K, et al. Study on bending damage and failure of basalt fiber reinforced concrete under freeze-thaw cycles [J]. Construction and Building Materials, 2018, 163:460-470.

[8] JIANG C H,T. MCCARTHY T J, CHEN D, DONG Q Q. Influence of basalt fiber on performance of cement mortar [J]. Key Engineering Materials, 2010, 426:93-96.

[9] 胡星宇. 聚乙烯醇、玄武岩混杂纤维混凝土性能研究[D].合肥:合肥工业大学,2015.

[10] 于海洋,李地红,代函函,等.混杂纤维增强应变硬化水泥基复合材料的弯曲性能研究[J].材料导报,2020,34(S1):229-233.

[11] 何波玲.聚丙烯腈纤维聚合物水泥砂浆性能的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.

[12] 王英姿,赵帅,田颖,等.聚丙烯纤维增强聚合物水泥砂浆的干缩性能研究[J].硅酸盐通报,2008(2):403-406.

Experimental Study on Properties of Polyvinyl Alcohol- basalt
Fiber Reinforced Cement Mortar

ZHOU Ying ,HU Chunhua

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment Hubei Univ.of Tech., Wuhan 430068, China)

Abstract: Although adding polyvinyl alcohol (PVA) fiber or basalt (BF) can improve the physical and mechanical properties of cement mortar, there are some limitations. In order to obtain the composite material with better performance, the two kinds of fibers are mixed into the cement mortar. Under the condition of constant volume fraction, the experimental groups $S_3 \sim S_9$ mixed with two kinds of fibers at different ratios were designed for comparison with the control groups S_0 , S_1 and S_2 mixed with no fiber, PVA fiber and BF fiber. The fluidity, strength, toughness and dry shrinkage properties of cement mortar mixed with single fiber and two kinds of fiber in different proportions were tested. The test results show that the comprehensive properties of cement mortar are greatly improved when PVA fiber and BF fiber are added into the cement mortar in proper proportion. Under the condition of this test, the optimal fiber content ratio is $V(PVA) : V(BF) = 2 : 3$.

Keywords: olyvinyl alcohol fiber; basalt fiber; hybrid fiber ratio;mechanical properties

[责任编辑:裴 琴]

(上接第 85 页)

Study on Deformation Failure Analysis and Evolution Law of
Xuehuaping Landslide in Three Gorges Reservoir Area

LI Wandu

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment ,Hubei Univ.of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract: In order to explore the evolution law of Xuehuaping landslide of the Three Gorges reservoir and analysis the 3D distortion and destruction, this paper first studied the constitutive model and yield criterion of Xuehuaping landslide. Secondly, based on GEO-SLOPE software, the main longitudinal slope of Xuehuaping landslide was divided into finite element meshes with quadrilateral elements. After that, the process of distortion and destruction of Xuehuaping landslide under certain conditions was simulated by Abaqus. On the basis, the variation and characteristics of the stress field and displacement field of Xuehuaping landslide were described; this paper also researched the displacement and stress variation of Xuehuaping landslide. The results show that the change of upper reservoir water level would obviously influence the distortion of Xuehuaping landslide under the second condition, and the postmedian of sliding belt shows steeper morphology and has large damage area than front part of sliding belt.

Keywords: landslide; deformation characteristics; reservoir level rise and fall; formation mechanism

[责任编辑:裴 琴]