

文章编号: 1001-4888(2022)05-0722-09

聚乙烯醇纤维再生混凝土摩擦剪切力学性能试验^{*}

陈宇良^{1,2}, 刘志华¹, 叶培欢¹, 姜锐¹, 徐鸿飞²

(1. 广西科技大学 土木建筑工程学院, 广西柳州 545006; 2. 柳州东方工程橡胶制品有限公司, 广西柳州 545000)

摘要: 为了研究聚乙烯醇(PVA)纤维再生混凝土摩擦剪切力学性能,对 30 个混凝土立方体试件进行多次摩擦剪切试验,以再生粗骨料取代率、压应力比以及 PVA 纤维掺量为变化参数,分析其对再生混凝土摩擦剪切强度的影响。结果表明:再生混凝土摩擦剪切峰值强度随摩擦次数的增加而降低,随粗骨料取代率的增大而减小;压应力比为 0.2 时的剪切峰值强度约为压应力比为 0.1 时的 1.5 倍;100%再生粗骨料混凝土摩擦剪切峰值强度随 PVA 纤维掺量的增加而减小;其中压应力比对残余界面摩擦力耗损影响最大,较大的压应力会加快界面残余强度的耗损速度。

关键词: 再生混凝土; 聚乙烯醇纤维; 摩擦剪切; 残余强度; 界面摩擦力

中图分类号: TU528.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-21-246

0 引言

再生粗骨料由于其孔隙率大、附带原生裂纹、表面附着旧砂浆等不足,导致再生混凝土与普通混凝土力学性能有所差异^[1-5]。为了改善再生混凝土力学性能,掺入纤维对再生混凝土可以起到阻裂、增韧、强化的作用,是当前改善再生混凝土延性、变形、强度的主要方法之一^[6-8]。其中,聚乙烯醇(PVA)纤维具有强度高、韧性好、耐腐蚀、亲水性强等优点,将 PVA 纤维与再生混凝土结合,对于改善再生混凝土力学性能及其推广应用具有工程意义。

孙呈凯等^[9]通过正交试验分析了 PVA 纤维再生混凝土抗压、劈拉等性能的强度变化,发现 PVA 纤维可以有效抑制再生粗骨料原生裂纹及后期养护温度变化而产生的裂纹等,并得出 PVA 纤维掺量为 0.1%时可以有效提高再生混凝土抗压及劈拉强度的结论。邓明科等^[10]进行了 PVA 纤维改性高延性混凝土双面剪切试验,提出 PVA 纤维能够提高高延性混凝土的抗剪强度,对比多国规范中高延性混凝土剪切韧性的评价方法后,提出采用初始能量密度与残余剪切韧度比作为 PVA 高延性混凝土的剪切韧性评价方法。陈宇良等^[11]通过对再生混凝土进行直剪试验,证明再生混凝土剪切强度低于普通混凝土剪切强度后,进一步推导出再生混凝土剪切强度换算指标,对再生混凝土的应用提供了理论依据。邓志恒等^[12]利用再生混凝土直剪试验和压-剪复合受力试验,研究了不同压应力比下再生混凝土压-剪受力失效机理,结果发现压-剪剪切强度高于直剪剪切强度,说明一定的压应力可以有效提高再生混凝土剪切强度。

目前对于 PVA 纤维再生混凝土力学性能的研究主要集中于抗压、劈拉等方面,而对 PVA 纤维再生混凝土剪切性能鲜有研究,尤其在混凝土受剪开裂后,混凝土剪切粗糙面是否可以继续承担一定剪切荷载、剪切荷载如何传递、剪切界面摩擦力耗损情况等均为未知。为此,本文通过 PVA 纤维再生混凝土

^{*} 收稿日期: 2021-10-22; 修回日期: 2021-11-10

基金项目: 国家自然科学基金(51908141); 中国博士后科学基金(2021M693854); 广西科技基地和人才专项(AD19110068); 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY0361); 广西水工程材料与结构重点实验室(GXHRI-WEMS-2020-05)

通信作者: 陈宇良(1987—),男,博士,副教授。主要从事可持续绿色建筑材料的研究及应用。Email: ylchen@gxust.edu.cn

土摩擦剪切试验,深入研究了再生粗骨料取代率、PVA 纤维掺量、压应力比、摩擦次数等变化参数对 PVA 纤维再生混凝土摩擦剪切应力、界面摩擦应力耗损情况的影响,所得结果可为再生混凝土材料服役极限及再生混凝土结构可靠性研究提供参考。

1 试验概况

1.1 试验材料

PVA 纤维物理性能指标见表 1;再生粗骨料(RA)源自某实验室废弃混凝土梁(原强度为 C30),经鄂式破碎机破碎、筛分、清洗后取得,按照国家标准规范《混凝土用再生粗骨料》(GB/T 25177—2010)测得试验所用再生粗骨料为Ⅲ级再生粗骨料;天然粗骨料(NA)为普通碎石;粗骨料粒径均为 5~20mm,其物理性能参数见表 2。细骨料采用河砂;胶凝材料采用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥;拌和水为城市自来水。

表 1 PVA 纤维物理性能
Tab. 1 Physical properties of PVA fibers

纤维名称	长度/mm	密度/(g·cm ⁻³)	断裂伸长率/%	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa
PVA 纤维	18	1.3	6.9	1830	40

表 2 粗骨料物理性能
Tab. 2 Basic performance of coarse aggregate

类型	表观密度/(kg·m ⁻³)	堆积密度/(kg·m ⁻³)	吸水率/%	压碎指标/%	附着砂浆含量/%
天然粗骨料	2704	1499.90	0.43	17.20	—
再生粗骨料	2600	1321.35	5.40	25.60	43.20

1.2 试件设计

以再生粗骨料取代率 r 、PVA 纤维体积掺量 V_f 、压应力比 $k=\sigma/f_{cu}$ (σ 代表 28d 试验测得的混凝土压应力值; f_{cu} 代表设计抗压强度值) 为变化参数,设计 30 个尺寸为 150mm×150mm×150mm 的 PVA 纤维再生混凝土试件进行摩擦剪切试验。其中,取代率 r 考虑 0%、30%、70%、100%;在取代率 0%、30%、70% 时 PVA 纤维掺量 V_f 为 0.1%,取代率 100% 时 PVA 纤维掺量 V_f 为 0%、0.1%、0.15%;压应力比考虑 0.1、0.2。为探究在相同条件下不同再生粗骨料取代率对混凝土摩擦剪强度的影响,配合比采用等水灰比设计,试件设计强度等级为 C35, PVA 纤维体积掺量 (V_f) 的设计参考文献[9]。具体配合比及参数设计详见表 3。

因再生粗骨料内部存在孔隙,且表面附着有旧砂浆,使其吸水性增强,导致拌合物中的自由水含量减少,从而影响了混凝土的流动性及其强度。参考《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011),当 100% 取代率时再生混凝土加入 25kg·m⁻³ 附加用水,其他取代率按照相应再生粗骨料取代率按比例加入附加用水。

1.3 试验装置及加载方案

采用中科院武汉研究所 RMT-301 岩土与混凝土力学试验机进行剪切试验,加载装置如图 1 所示。试块放入剪切盒,将剪切盒置于上下滚轴板之间;上切盒紧贴自调杆,以减小试验中偏心产生的弯矩影响,试块剪切受力模型如图 2 所示。试验加载前,对剪切盒进行竖向和水平向预加载,消除剪切盒与试块之间的间隙。试验开始后,首先采用竖向千斤顶施加荷载至恒定值,其次由水平千斤顶通过拉杆对下剪切盒施加拉力进行剪切加载。摩擦剪切加载制度如图 3 所示:第 1 次剪切加载至剪切应力-位移曲线下降段趋于平缓停止,当剪切位移加载至 6mm 时,剪切应力-位移曲线基本趋于平缓,故加载至剪切位移为 6mm 处停止,剪切速率为 0.02mm/s;为保证每次界面摩擦初始位置相同,单次摩擦剪切结束后,转动螺旋杆将剪切盒顶回至位移计初始位置,此过程加载装置不计时间,故图 3 中以虚线段表示归位过程;后续保持加载速率不变,重复摩擦剪切加载过程。

表 3 混凝土配合比及参数设计表
Tab. 3 Concrete mix proportion and parameters design

$r/\%$	V_f /%	k	配合比/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)						f_{cu} /MPa
			水泥	砂	水	附加水	天然粗骨料	再生粗骨料	
0	0.1	0.1	500	542	215	0	1153	0	45.1
		0.2	500	542	215	0	1153	0	
30	0.1	0.1	500	542	215	8	807	346	43.8
		0.2	500	542	215	8	807	346	
70	0.1	0.1	500	542	215	18	346	807	35.5
		0.2	500	542	215	18	346	807	
100	0.1	0.1	500	542	215	25	0	1153	38.2
		0.2	500	542	215	25	0	1153	
	0	0.2	500	542	215	25	0	1153	
	0.15	0.2	500	542	215	25	0	1153	

注： r 为再生粗骨料取代率； V_f 为 PVA 纤维掺量； k 为压应力比； f_{cu} 为试验抗压强度。

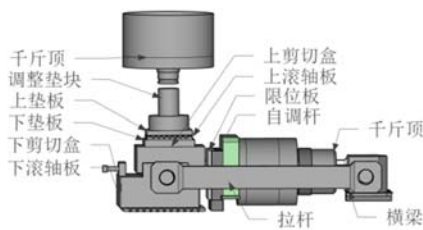


图 1 加载装置

Fig. 1 Loading setup

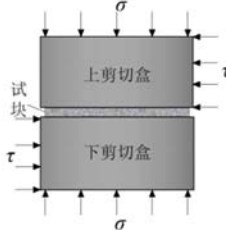


图 2 剪切力学模型

Fig. 2 Shear mechanical model

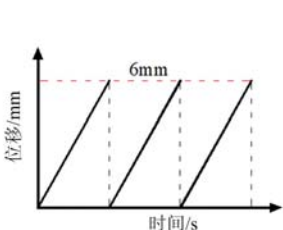


图 3 加载制度

Fig. 3 Loading system

2 试验结果

2.1 破坏形态

PVA 纤维再生混凝土摩擦剪切破坏形态如图 4 所示。图 4(a)为不同再生粗骨料取代率下试件摩擦剪切破坏形态图,由图可见,随着粗骨料取代率增加,混凝土主裂缝逐渐变宽,斜裂缝数量增多,其中 70%、100%取代率下斜裂缝发展贯通侧面,试件破坏程度加重。图 4(b)为 0%取代率和 100%取代率下的摩擦剪切破坏平面图,由图可见,取代率为 0%时,多次摩擦剪切后剪切破坏面粗骨料清晰可见(图 4(b)中虚线圈出部分),破坏面干净清晰;取代率为 100%时,剪切破坏面中粗骨料可见度较低,同时粗骨料与水泥砂浆界面过渡区破坏严重,破坏面整体碎屑、粉末较多,存在明显摩擦痕迹。将图 4(b)中剪切破坏面与图 4(a)中取代率为 0%、100%时的剪切破坏面对照分析,相比 0%取代率,100%取代率下剪切破坏面和试块整体破坏更加严重。图 4(c)为 100%再生粗骨料混凝土不同 PVA 纤维掺量的摩擦剪切破坏形态,随着 PVA 纤维的掺入,剪切裂缝宽度明显得到改善,剪切裂缝宽度逐渐减小,但 PVA 纤维掺量为 0.15%时试块产生较多斜裂缝。

2.2 摩擦剪切应力-位移曲线全过程

图 5 为典型摩擦剪切应力-位移曲线,混凝土摩擦剪切是将试件在设定轴向压力下,对混凝土进行多次剪切,消耗界面摩擦力的过程。由图可见,第 1 次剪切应力-位移曲线即为典型剪切应力-位移曲线,首先为上升段,由黏结力、范德华力等承担剪切荷载;曲线到达峰值后开始下降,下降段主要由骨料咬合力及界面摩擦力承担剪切荷载;曲线下降至峰值 70%时出现转折点,转折后趋于平缓段,该阶段仅由界面摩擦力承担剪切荷载。

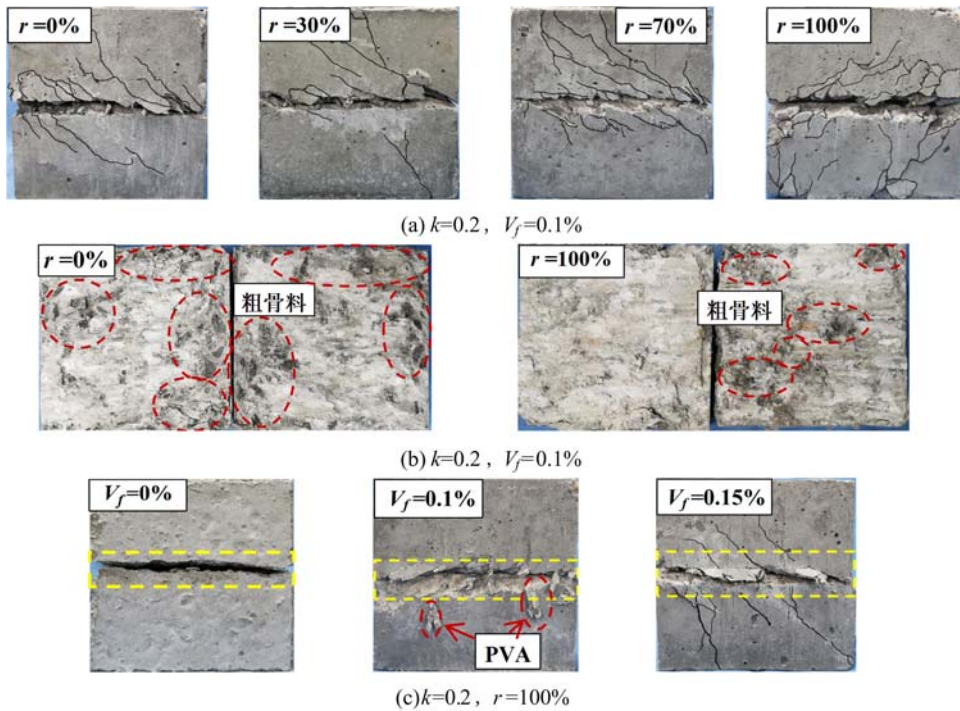


图4 摩擦剪切破坏形态

Fig. 4 The frictional shear failure patterns

第1次剪切结束归位后,再次进行剪切加载,即为第2次摩擦剪切,由于第1次摩擦剪切已将黏结力、范德华力、骨料咬合力完全消耗,故第2次摩擦剪切荷载仅由界面摩擦力承担。由于第1次归位时剪切破坏面粗骨料碎屑掉落较多,损失部分界面摩擦强度,故图5中第1次、第2次摩擦剪切曲线之间存在间隙。

第2次摩擦剪切结束归位后,进行第3次摩擦剪切,由剩余界面摩擦力承担剪切荷载,曲线峰值过后无下降段,平缓段与第2次曲线平缓段重合;后续多次摩擦剪切过程中应力-位移曲线与第3次曲线重合,粗糙面趋于稳定状态,界面摩擦强度趋于定值。

图6为PVA纤维掺量 $V_f=0.1\%$ 时再生混凝土摩擦剪切应力-位移曲线图(其中 τ 为剪切应力; Δ 为剪切位移)。由图6可见,第1次摩擦剪切曲线均分为上升段、下降段、平缓段,第2~4次摩擦剪切曲线仅存在上升段、平缓段,随摩擦次数增加,剪切峰值强度降低。

图6(a)~(d)为 $k=0.1$ 时各取代率下的摩擦剪切应力-位移曲线,由图可知,随着取代率增大,剪切峰值强度逐渐降低,各取代率下第1次、第2次摩擦剪切过程中强度损失较为明显,第3次、第4次摩擦剪切后摩擦强度趋于稳定值;曲线线性阶段的斜率随摩擦次数增加逐渐减小。图6(e)~(h)为 $k=0.2$ 时各取代率下的摩擦剪切应力-位移曲线,由图可见,随着取代率增大,第1次剪切峰值强度显著降低,第2~4次峰值强度变化较小,且曲线斜率基本无变化。

对比 $k=0.1$ 、 $k=0.2$ 时的剪切应力-位移曲线,发现 $k=0.1$ (图6(a)~(d))时,第1次摩擦剪切曲线下降段与平缓段转折角约 120° ;当 $k=0.2$ (图6(e)~(h))时,第1次摩擦剪切曲线下降段与平缓段之间转折缓慢,转折角约 150° 。由于试块上下表面与试验机之间存在摩擦力,所以轴向压应力越大,摩擦阻力越大,同时摩擦阻力抑制剪切位移的发展,从而增大了剪切强度,延缓了试件破坏的速度。

相比 $k=0.1$ 时的峰值应力, $k=0.2$ 时第1次摩擦剪切峰值应力提升了约1.5倍;第2次摩擦剪切

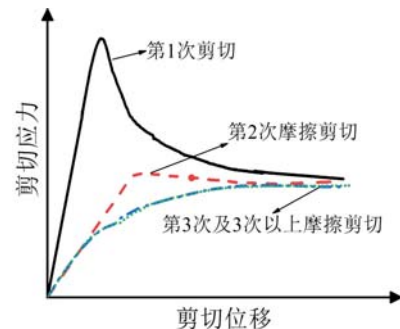


图5 典型摩擦剪切应力-位移曲线

Fig. 5 The typical curve of frictional shear stress-displacement

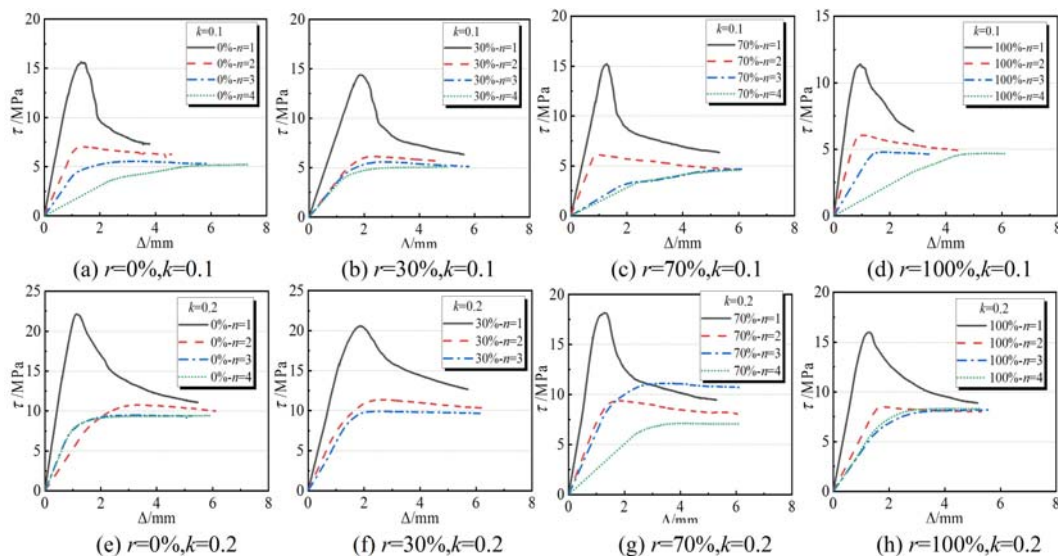
图 6 摩擦剪切应力-位移曲线(n 为摩擦次数)

Fig. 6 The curve of frictional shear stress-displacement(n is the numbers of frictional shear)

峰值应力提升了 40%~50%，其中该阶段试件的抗剪承载力由界面残余摩擦力承担；第 3 次摩擦剪切峰值应力提升了约 60%。图 6 中第 4 次摩擦剪切峰值应力与第 3 次摩擦剪切峰值应力相同，剪切应力-位移曲线基本重合，说明 3 次摩擦剪切后试件界面摩擦承载力趋于稳定，后续摩擦次数分析过程中均以 3 次摩擦试验为基准。

3 影响因素分析

3.1 取代率对摩擦剪切峰值强度的影响

再生粗骨料取代率对 3 次摩擦剪切峰值强度的影响如图 7 所示。由图可见，随着再生骨料取代率的增大，剪切峰值强度先增大后降低。第 1 次摩擦剪切中，剪切峰值强度随再生骨料取代率增加呈“阶梯状”下降。在第 2 次、第 3 次摩擦剪切中，当 $k=0.2$ 时，剪切峰值强度随取代率增大呈现出先上升后下降的“山丘形”趋势，在 30%、70% 取代率时剪切峰值强度局部上升，100% 取代率时剪切峰值强度急速下降；当 $k=0.1$ 时，剪切峰值强度均为直接下降。30% 和 70% 取代率时骨料吸水率较大，减小了局部水灰比，导致剪切强度略有增大；100% 取代率下再生骨料缺陷较多，剪切平面粗糙度易破坏，碎屑过多，容易形成滚动摩擦，从而降低了界面摩擦强度。

3.2 PVA 纤维掺量对摩擦剪切强度的影响

图 8 为不同 PVA 纤维掺量对 100% 再生粗骨料混凝土摩擦剪切强度的影响图。由图可见，随摩擦次数的增加，摩擦剪切峰值强度逐渐降低。当 100% 再生粗骨料混凝土第 1 次剪切时，相较于 $V_f=0\%$ 时试件的剪切峰值强度， $V_f=0.1\%$ 、 $V_f=0.15\%$ 时试件剪切峰值强度降低了约 9%、6%；第 2 次剪切时，相较于 $V_f=0\%$ 时试件的剪切峰值强度， $V_f=0.1\%$ 、 $V_f=0.15\%$ 时的试件剪切峰值强度降低了约 17%、1%；第 3 次剪切时，相较于 $V_f=0\%$ 的剪切峰值强度， $V_f=0.1\%$ 、 $V_f=0.15\%$ 时的试件剪切峰值强度提升了约 3%、8%。由上述分析可知，掺入 PVA 纤维后第 1 次摩擦剪切峰值强度反而降低，这可能是因为试件中水泥砂浆需要同时包裹粗骨料和 PVA 纤维，影响了粗骨料与水泥之间的界面强度，导致试件裂缝加速开裂，从而使第 1 次摩擦剪切混凝土的剪切峰值强度降低。随着剪切次数的增加，第 2 次、第 3 次剪切时试件内部部分 PVA 纤维被拉拔或拉断，延缓了微裂缝发展为宏观裂缝的速度，部分纤维及界面凸出骨料承担、传递了一定的剪切荷载，从而有效改善了混凝土界面粗糙度。最终结果表明，掺入纤维后 100% 再生粗骨料混凝土第 1 次剪切强度降低，但多次摩擦剪切后 PVA 纤维可以提高其剪切强度，后期摩擦剪切中 PVA 纤维为 $V_f=0.15\%$ 时对 100% 再生粗骨料混凝土摩擦强度有明显的提高。

3.3 压应力比对摩擦剪切强度的影响

图9为压应力比对3次摩擦剪切峰值强度的影响图。由图可见,随着摩擦剪切次数的增加,各压应力比下的剪切峰值强度逐渐减小;相同再生粗骨料取代率下,随着压应力比的增大,剪切峰值强度逐渐增加;在0%取代率、 $k=0.2$ 时,摩擦剪切强度最大。相较于 $k=0.1$ 时的3次摩擦剪切强度, $k=0.2$ 时的3次摩擦剪切强度分别提升了33%~40%、80%~100%、70%~80%。这是因为当 $k<1$ 时,轴向压应力越大,试件上下接触面的摩擦限制越大;同时,一定的压力可以有效抑制裂缝的发展与延伸,减缓水泥砂浆与粗骨料界面之间的破坏程度,进而提高了混凝土的剪切峰值强度。经过分析图9中相同再生粗骨料取代率及摩擦次数下的数据发现, $k=0.2$ 时的剪切强度均高于 $k=0.1$ 时的剪切强度,可见一定的轴向压力可以有效提升试件抗剪承载力。

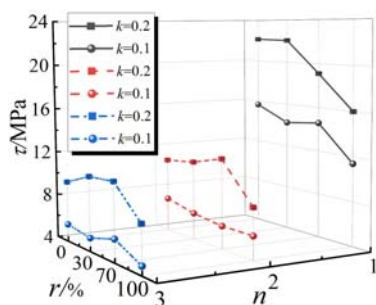


图7 再生粗骨料取代率对3次摩擦剪峰值强度的影响

Fig. 7 Effect of recycled coarse aggregate replacement rate on the peak strength of three times of frictional shear

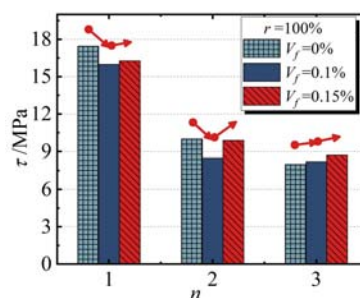


图8 PVA纤维掺量对3次摩擦剪峰值强度的影响

Fig. 8 Effect of PVA fiber incorporation on the peak strength of three times of frictional shear

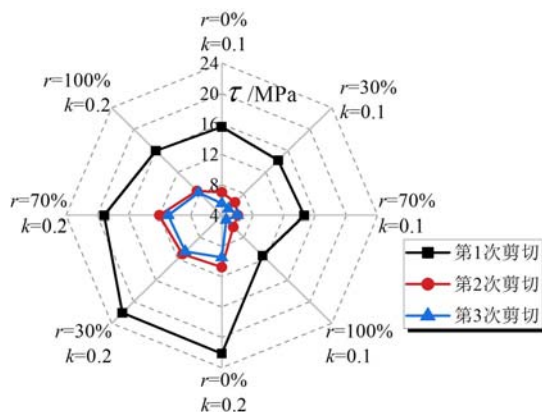


图9 压应力比对3次摩擦剪峰值强度的影响

Fig. 9 Effect of compressive stress ratio on peak strength of three times frictional shear

4 界面摩擦残余强度

4.1 界面摩擦力临界点

根据 Wessem 等^[13]的研究,可将剪切试验分解为3个阶段,图10(a)为剪切应力-位移曲线图,图中不同线型分别对应 Wessem 等提出的3个剪切阶段。由图10(a)可知:第Ⅰ阶段为上升阶段,主要由剪切面未破坏界面的范德华力、化学胶着力及破坏界面的骨料咬合力承担;第Ⅱ阶段为下降阶段,主要由剪切面骨料咬合力和界面摩擦力承担;第Ⅲ阶段为荷载相对稳定阶段,主要由界面摩擦力承担。由于在第Ⅱ阶段是骨料咬合力与界面摩擦力共同承担剪切荷载,因此结合图10(b)剪切位移-竖向位移曲线可得出骨料咬合力与界面摩擦力分界点,即界面摩擦力临界点。首先在未有主裂缝出现阶段,骨料未凸出,试件高度不变,竖向位移恒定(竖向千斤顶伸出位移不变);然后随着剪切变形增加,形成主裂缝的过程中,主裂缝粗骨料逐渐凸出,裂缝变宽;最后上剪切面升高,竖向位移增大(竖向千斤顶回缩,故图10(b)中竖向位移变化为反向减小),此阶段为剪胀Ⅰ阶段;当主裂缝贯通时,竖向位移变化速率突变,出现

转折,该点即为骨料咬合力与界面摩擦力分界点;转折点过后,随剪切位移继续增大,剪切破坏面持续受凸出骨料影响,裂缝继续加宽,但粗骨料存在一定粒径范围,竖向位移变化速率减缓,此阶段为剪胀 2 阶段。根据上述分析,转折处即为骨料咬合力与界面摩擦力的分界点。

4.2 残余界面摩擦强度耗损分析

图 11 为摩擦次数与归一化残余界面摩擦强度关系图。由图可见,第 1~2 次、第 2~3 次摩擦剪切界面摩擦力呈现快速下降趋势,后续摩擦次数基本不再下降。因为前 3 次界面摩擦剪切过程中有大部分粗骨料处于凸出状态,破坏界面粗糙度较完整,经过多次摩擦压剪后,凸出骨料磨平,剪切面粗糙度逐渐稳定,3 次摩擦剪切后折线逐渐水平。

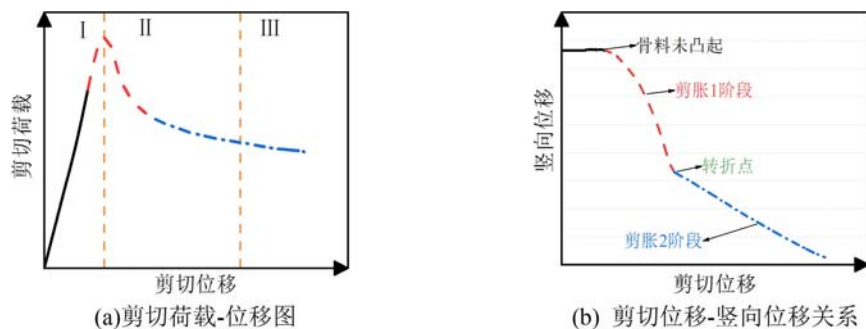


图 10 界面摩擦强度临界点示意图

Fig. 10 Schematic diagram of the critical point of the interface frictional shear strength

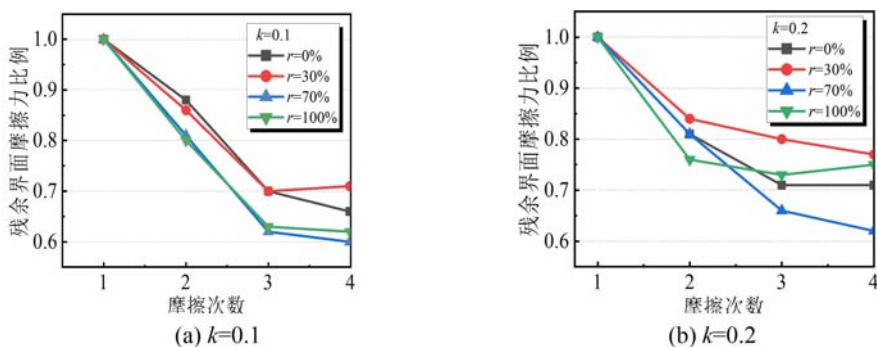


图 11 摩擦次数-残余界面摩擦力占比关系图

Fig. 11 Relationship of frictional times-residual interface frictional strength ratio

表 4 各摩擦次数 n 下界面摩擦力消耗比例

Tab. 4 The consumption ratio of interface frictional strength at each frictional number n

	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n \geq 4$	总消耗
$k=0.1$	100%	13%~20%	17%~18%	1%~2%	31%~40%
$k=0.2$	100%	15%~25%	5%~10%	2%~3%	22%~38%

由图 11(a)可知,当 $k=0.1$ 时,第 2 次界面摩擦力占初始界面摩擦力的 80%~87%;第 3 次界面摩擦力占初始界面摩擦力的 62%~70%;摩擦次数大于 3 时界面摩擦力占初始摩擦力 60%~71%。由图 11(b)可知,当 $k=0.2$ 时,第 2 次界面摩擦力占初始界面摩擦力 75%~85%;第 3 次界面摩擦力占初始界面摩擦力 65%~80%;摩擦次数大于 3 时界面摩擦力占初始摩擦力 63%~77%。基于试验数据,发现每一次摩擦剪切均在上一次摩擦剪切的基础上耗损界面摩擦力,数据经整理后可得出各摩擦次数下的耗损占比见表 4。

由表 4 可发现,不同压应力比对 PVA 再生混凝土界面摩擦力耗损速率的区别在于: $k=0.1$ 时,界面摩擦力耗损速率在第 3 次摩擦剪切时开始减缓,第 3 次摩擦剪切中界面摩擦力消耗比例最大; $k=0.2$

时,界面摩擦力耗损速率在第2次摩擦剪切时开始减缓,第2次摩擦剪切中界面摩擦力消耗比例最大,这与2.2节剪切应力-位移曲线的变化趋势吻合。不同压应力比影响摩擦剪切过程中粗骨料压碎、磨平的速度,压应力比较小时,粗骨料经过多次摩擦后被摩擦压碎,界面摩擦残余强度匀速耗损;压应力比较大时,前期摩擦剪切过程中对剪切面残余强度消耗较快。总体上,一定的轴向压力可提高摩擦剪切强度,由摩擦剪切次数及相对应的残余强度可知,压应力比对残余界面摩擦强度影响较大。

5 结论

(1) 随取代率增加,初次摩擦剪切强度逐渐降低,而对剩余摩擦次数下的剪切强度影响较小。取代率为0%时,主裂缝宽度较小,破坏面擦痕清晰;取代率为100%时,主裂缝变宽,微裂纹较多,破坏面有明显碎屑粉末。

(2) 第1次、第2次摩擦剪切中,100%再生粗骨料混凝土的剪切强度随PVA纤维掺量的增加而降低;在第3次摩擦剪切中,PVA纤维可以起到维持混凝土剪切破坏面界面粗糙度的作用,且随着PVA纤维掺量的增加,100%再生粗骨料混凝土的剪切强度增大。

(3) 压应力比为0.2时的初次剪切峰值强度为压应力比为0.1时的1.5倍。随压应力比增大,界面摩擦强度耗损速度加快,压应力比为0.1时,第3次摩擦剪切残余强度消耗最多,压应力比为0.2时,第2次摩擦剪切残余强度消耗最多,均在3次摩擦剪切后耗损基本停止。

(4) 残余界面摩擦强度受压应力比、再生骨料取代率、摩擦次数、PVA纤维掺量等因素影响,其中压应力比对再生混凝土摩擦剪切界面摩擦强度的影响最大。

参考文献:

- [1] 肖建庄. 再生混凝土[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008 (XIAO Jianzhuang. Recycled concrete[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008 (in Chinese))
- [2] 陈宗平, 徐金俊, 薛建阳. 取代率对钢管再生混凝土短柱轴压性能退化的影响分析[J]. 实验力学, 2014, 29(2): 207—214 (CHEN Zongping, XU Jinjun, XUE Jianyang. Influence of replacement ratio on axial compression performance degradation of recycled aggregate concrete-filled steel tube short column[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2014, 29(2): 207—214 (in Chinese))
- [3] Guo Z G, Tu A, Chen C, et al. Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 199: 136—149.
- [4] 陈宇良, 姜锐, 陈宗平, 等. 直剪状态下再生混凝土的变形性能及损伤分析[J]. 材料导报, 2021, 35(19): 19015—19021 (CHEN Yuliang, JIANG Rui, CHEN Zongping, et al. Deformation performance and damage analysis of recycled concrete under direct shear condition[J]. Materials Review, 2021, 35(19): 19015—19021 (in Chinese))
- [5] 周伯贤, 张磊, 贺玲凤. 两种再生粗骨料混凝土单轴受压性能研究[J]. 实验力学, 2017, 32(1): 43—48 (ZHOU Boxian, ZHANG Lei, HE Lingfeng. Experimental investigation on properties of concrete with two kinds of recycled coarse aggregate subjected to uniaxial compression[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2017, 32(1): 43—48 (in Chinese))
- [6] 马辉, 贾晨俊, 吴亚楠, 等. 碳纤维条带约束型钢再生混凝土短柱轴压性能试验研究[J]. 实验力学, 2021, 36(5): 655—667 (MA Hui, JIA Chenjun, WU Yanan, et al. Experimental study on axial compression behavior of steel reinforced recycled concrete short columns confined by CFRP strips[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2021, 36(5): 655—667 (in Chinese))
- [7] 罗素蓉, 林扬兴, 肖建庄. 钢-PVA混杂纤维高强再生骨料混凝土断裂性能[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(12): 93—102 (LUO Surong, LIN Yangxing, XIAO Jianzhuang. Fracture behaviors of hybrid steel-PVA fiber reinforced high strength recycled aggregate concrete[J]. Journal of Building Structures, 2020, 41(12): 93—102 (in Chinese))
- [8] 黄炜, 孙玉娇, 盛亚文, 等. 新型装配整体式纤维再生混凝土剪力墙抗震性能及抗剪承载力研究[J]. 振动与冲击, 2021, 40(19): 98—106, 115 (HUANG Wei, SUN Yujiao, SHENG Yawen, et al. Seismic performance and anti-shear capacity of a new prefabricated monolithic fibre-reinforced recycled concrete shear wall[J]. Journal of

- Vibration and Shock, 2021, 40(19):98–106, 115 (in Chinese))
- [9] 孙呈凯, 金宝宏, 李家俊, 等. PVA 纤维再生混凝土力学性能正交试验研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2018, 43(4):1569–1575 (SUN Chengkai, JIN Baohong, LI Jiajun, et al. Research on mechanical properties of PVA fiber recycled concrete by orthogonal experiment[J]. Journal Guangxi University (Natural Science Edition), 2018, 43(4):1569–1575 (in Chinese))
- [10] 邓明科, 刘华政, 马福栋, 等. 聚乙烯醇纤维改性高延性混凝土双面剪切试验及剪切韧性评价方法[J]. 复合材料学报, 2020, 37(2):461–471 (DENG Mingke, LIU Huazheng, MA Fudong, et al. Double shear experiment of highly ductile concrete modified by polyvinyl alcohol and shear toughness evaluation method[J]. Acta Materialiae Compositae Sinica, 2020, 37(2):461–471 (in Chinese))
- [11] 陈宇良, 刘杰, 吴辉琴, 等. 直剪作用下再生混凝土力学性能及强度指标换算[J]. 复合材料学报, 2021, 38(11):3962–3970 (CHEN Yuliang, LIU Jie, WU Huiqin, et al. Mechanical properties and strength index conversion of recycled aggregate concrete under direct shear[J]. Acta Materialiae Compositae Sinica, 2021, 38(11):3962–3970 (in Chinese))
- [12] 邓志恒, 李作华, 杨海峰, 等. 再生混凝土压-剪复合受力性能研究[J]. 建筑结构学报, 2019, 40(5):174–180 (DENG Zhiheng, LI Zuohua, YANG Haifeng, et al. Mechanic behavior of recycled aggregate concrete subjected to compression-shear loading[J]. Journal of Building Structures, 2019, 40(5):174–180 (in Chinese))
- [13] Waseem S A, Singh B. Shear transfer strength of normal and high-strength recycled aggregate concrete: an experimental investigation[J]. Construction & Building Materials, 2016, 125:29–40.

Experimental study on the mechanical properties of polyvinyl alcohol fiber recycled aggregate concrete under frictional shear

CHEN Yuliang^{1,2}, LIU Zhihua¹, YE Peihuan¹, JIANG Rui¹, XU Hongfei²

(1. School of Civil Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China;

2. Liuzhou Orient Engineering Rubber Products Co., Ltd, Liuzhou 545000, Guangxi, China)

Abstract: In order to study the mechanical properties of polyvinyl alcohol (PVA) fiber recycled aggregate concrete when subjected to frictional shear states, experiments were conducted with 30 specimens. The influence of replacement ratio of recycled coarse aggregate, PVA fiber volume incorporation and compressive stress ratio on the friction shear strength were analyzed. The results show that the peak stress of frictional shear of the recycled aggregate concrete decreases with the number of frictional shear and decreases with the increase of the replacement ratio of recycled coarse aggregate. The shear peak stress of 0.2 compressive stress ratio is 1.5 times of the shear peak stress of 0.1 compressive stress ratio. The frictional shear strength of 100% recycled coarse aggregate concrete decreases with the increase of PVA fiber volume incorporation. The compressive stress ratio of the specimens has the greatest influence on the residual interface frictional strength.

Keywords: recycled aggregate concrete; polyvinyl alcohol fiber; frictional shear; residual strength; interface frictional strength