

文章编号:1671-6833(2020)04-0017-06

再生混凝土破坏机理及力学增强策略研究综述

邵昀泓^{1,3}, 庞亚凤², 郑元勋³, 孔维兴³

(1.浙江交通职业技术学院,浙江 杭州 311112; 2.同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804; 3.郑州大学 水利科学与工程学院,河南 郑州 450001)

摘 要:废旧混凝土的再生利用符合我国绿色环保、可持续发展的基本国策,因此,如何在研究再生混凝土破坏模型的基础上,有效提高再生混凝土的力学及路用性能,进而扩展其在基础设施建设领域的推广应用是目前亟待解决的问题之一。结合国内、外最新研究现状,分别从抗压强度、抗拉劈裂强度、弹性模量等方面对再生混凝土破坏机理、破坏形态研究现状进行归纳总结。以此为基础进一步从再生骨料的取代率,骨料类型,试件成型方法,外加剂掺入,钢渣、钢纤维、碳纤维、纤维织物的添加以及粉煤灰或硅粉等矿质填料的加入等再生混凝土力学增强措施研究现状进行梳理与分析。研究成果对加强废旧混凝土破坏机理及力学增强措施的研究具有重要的引导作用,为进一步提高废旧混凝土的再生利用及推广提供参考。

关键词:再生混凝土;破坏机理;增强措施;力学性能

中图分类号: TU528. 09 **文献标志码:** A **doi:**10. 13705/j.issn.1671-6833. 2020.04. 005

0 引言

随着基础设施的快速发展,混凝土已成为房建、土木、交通等重要工程领域不可或缺的关键材料。随着混凝土结构服役年限的增加,水泥混凝土道路面临翻修、重建等问题,导致大量废旧混凝土的出现^[1-2]。废旧混凝土的大量堆放不仅不利于绿色、可持续发展要求,还将带来大量自然资源的浪费。因此,再生混凝土的有效利用成为解决这一问题的关键。

再生混凝土是废旧混凝土经破碎、筛分、活化等工序后形成的再生骨料,部分或全部替代天然骨料而制成的混凝土混合物。但破碎、筛分后的再生骨料周围不同程度地保留有原生混凝土老砂浆,且在破碎过程中将产生大量新裂纹甚至裂缝,造成了再生混凝土界面过渡区在新、旧水泥砂浆结合处黏结的不密实、不稳固^[3-4]。通常,由再生骨料配置的再生混凝土的抗压强度、抗拉劈裂强度、弹性模量等力学性能低于普通天然混凝土。

研究者对再生混凝土力学性能的研究已取得一定进展^[5]。笔者对其研究结果进行总结,在归

纳废旧混凝土破坏机理、破坏形态的前提下,分析改善再生混凝土力学性能的方法,对提高再生混凝土力学性能的研究趋势与方向进行展望。

1 废弃混凝土破坏机理

1.1 界面过渡区

界面过渡区严重影响混凝土结构的力学性能。新、老砂浆的存在引起再生混凝土界面过渡区的复杂性^[6],其强度和密实性成为影响混凝土结构力学性能的最主要因素之一。

肖倍等^[7]进行基本力学实验后发现,原生老砂浆在新拌混凝土中水泥砂浆黏结界面所占的比例会降低实际水灰比,减轻其黏结界面承载力,引起再生混凝土强度降低。李文贵等^[8]从再生骨料周围原生老砂浆的吸水率、孔隙率和密实度出发,发现提高再生骨料周围包裹的老砂浆强度是提高再生混凝土力学性能的重要措施。Xiao等^[9]指出,在新、老砂浆的界面过渡区域均存在着较多的孔隙和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,并运用纳米压痕技术探讨再生骨料混凝土界面过渡区的压痕模量,结果显示,新界面过渡区是导致再生骨料混凝土强

收稿日期:2020-03-10;修订日期:2020-06-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51678534);2020 年度河南省重点研发与推广专项(2020048)

通信作者:郑元勋(1978—),男,河南驻马店人,郑州大学教授,博士,主要从事结构检测、监测及结构耐久性以及建筑垃圾再生利用等研究,E-mail:yxzheng@zzu.edu.cn。

度降低的主要因素。基于此,郭鹏等^[10]提出:再生骨料混凝土界面过渡区聚集且定向排列的 C、H 严重影响再生骨料混凝土的力学特性。

综上,界面过渡区是影响再生骨料混凝土力学性能的关键。掌握界面过渡区微观结构,对原生老砂浆采取强化,提高过渡区强度是改善再生混凝土力学性能的重要途径。

1.2 破坏形态

再生骨料混凝土的毁坏由界面过渡区开始,随后微观裂纹产生、扩展并引起整个混凝土构件破坏。再生骨料混凝土与普通混凝土的差异性为破坏时各相材料所表现的形态^[7-8]。再生混凝土的破坏类型可概括为受压破坏、受拉破坏两大类。

肖倍等^[7]由立方体抗压试验得出,试验加载初期,试件两侧边缘出现细微裂缝并呈斜向向两端缓慢发展,随荷载增大,表面开始破碎、剥落,最后形成末端粗中间细的破坏形态。关于受拉破坏,加载初期试件上下承压面未出现明显微裂纹延伸。随荷载增加,垂直于加载垫块的两侧面中央出现细微的竖向裂缝,荷载达到峰值时,有“嘭嘭”的裂响声,试块在裂缝出现处被劈裂为两部分。李文贵等^[8]发现,再生骨料混凝土试件受压破坏较少情况下可能显现出局部压碎、破坏现象,但大多为斜向裂纹和裂缝的延伸、破坏。再生骨料混凝土的毁坏、破裂面大多为界面过渡区新、老砂浆的破坏,即天然骨料与新、老砂浆间界面的毁坏。

2 再生混凝土力学性能

2.1 抗压强度

混凝土建筑结构以承受荷载和其他各种作用力为主,抗压强度是混凝土的重要性能。研究再生混凝土结构的抗压强度,对提高再生混凝土力学性能极为关键。

Folino 等^[11]通过单轴和三轴抗压强度试验得出,再生粗骨料取代率在一定程度上影响再生骨料混凝土抗压强度;González-Fontboa 等^[12]指出,8%硅粉的加入有利于提高替代率为 50%的再生粗骨料混凝土抗压强度;Evangelista 等^[13]发现,用 30%的再生细集料替代天然细砂不会影响再生混凝土的抗压强度;Bravo 等^[14]制备立方体和棱柱体试件,得出再生骨料混凝土的抗压强度与再生骨料尺寸和来源等多种因素有关;Cabral 等^[15]根据抗压强度模型得出,相比于再生细骨料,再生粗骨料对抗压强度的影响更明显;Khalid

等^[16]由 35%再生骨料混凝土与 25%的废旧陶瓷配置的再生混凝土比普通混凝土的抗压强度提高 23.1%;Manzi 等^[17]采用旋转压实制备再生粗骨料混凝土比普通混凝土有更好的抗压强度;Ghorbani 等^[18]利用花岗岩废旧骨料作为部分取代物制成水泥混凝土混合料,置于 H_2SO_4 和 NaCl 溶液中 91 d,发现替换率为 10%~20%时,有高的抗压强度;杨海峰等^[19]研究得出:石粉成分低于 10%时,机制砂再生混凝土抗压强度随石粉含量增加而提高,石粉成分占 10%时,强度达到最大;Xiao 等^[20]发现,再生粗集料的取代率为 50%,抗压强度达到最大;Li 等^[21]发现,当粗骨料最大尺寸为 40 mm,替换率 40%时,再生骨料混凝土的立方体抗压强度仅降低 14%;姚宇峰等^[22]利用粒径为 19~26.5 mm 的再生粗骨料(取代率为 60%)制备再生混凝土,其抗压强度值能达到极限水平。

因此,再生混凝土抗压强度与再生骨料强度、再生骨料种类、再生粗细骨料取代率、外加剂掺入、再生混凝土配置方法等众多因素有关,为改善再生混凝土的抗压强度,需从以上因素分别考虑。

2.2 劈裂抗拉强度

抗拉强度是混凝土力学性能的薄弱环节之一,抗拉强度过低将严重影响混凝土力学性能。抗拉强度成为研究再生混凝土力学性能的关键。

Evangelista 等^[13]发现,随着再生细骨料替代率的增加,再生混凝土的抗拉强度降低;Bravo 等^[14]分析表明,再生混凝土抗拉强度的减小速率随再生细骨料取代率的增加而加快;Khalid 等^[16]配置的由 35%再生骨料与 25%的废旧陶瓷混合的混凝土比普通混凝土的抗拉强度提高 13.8%;Manzi 等^[17]采用旋转压实制备再生粗骨料混凝土比普通混凝土有着更好的抗拉强度;杨海峰等^[19]研究得出,石粉成分占比小于 10%时,机制砂再生混凝土抗拉强度随石粉含量的增加而提高;姚宇峰等^[22]利用粒径为 19~26.5 mm 的再生粗骨料制备再生混凝土,当取代率为 60%时,再生混凝土的劈裂拉伸强度达到极限值。

综上,再生混凝土抗拉强度与再生骨料类型、再生细骨料替代率、压实方法等众多因素有关,为改善再生混凝土的抗拉强度,需从更多方面综合考虑混凝土力学性能。

3 再生混凝土力学性能改善

结合国内外研究现状,对众多学者为改善再生混凝土力学性能的方法进行总结,从再生骨料、

外加剂、再生混凝土配制及砂浆等 4 个方面改善再生混凝土力学性能。

3.1 再生骨料

余维娜^[23]研究了再生骨料取代率对混凝土力学性能的影响;陈宗平等^[24]依据标准试验方法制作棱柱体试件,结果显示,由于再生粗骨料替代率的不断增长,再生粗骨料混凝土轴心抗压强度和立方体抗压强度整体展现出逐渐增强的趋势,综合考虑经济性与力学特性,建议再生骨料混凝土的最优替代率取为 30%~40%;杨青^[25]指出,相同水灰比条件下,不同强度等级的混凝土力学性能受再生骨料的影响不同,对于高强混凝土,再生骨料混凝土在各个龄期的强度均低于相对应的普通天然混凝土,而中、低强度再生混凝土各个龄期的强度均高于相对应的普通天然混凝土的强度;Paul 等^[5]通过实验和数值模拟的方法,揭示了再生骨料取代率与水灰比、集料与水泥比和空隙率间的相互关系;Jiang 等^[26]利用再生砂取代天然细集料制造再生混凝土,提高再生混凝土的力学性能;Silva 等^[27]研究指出,再生骨料类型、尺寸、强度及质量对再生骨料混凝土有着较大影响;Qasrawi^[28]通过调整再生集料成分和颗粒尺寸分布情况来观察再生混凝土的长、短期力学性能,发现再生骨料的加入会降低混凝土的抗拉及弯曲强度。

综上,从再生骨料角度考虑,再生骨料混凝土抗压强度受再生粗骨料影响较大,而再生细骨料对混凝土的抗拉劈裂强度影响更大。此外再生骨料尺寸宜为 5~10 mm,其最佳替代率为 30%~40%。

3.2 外加剂及矿物掺合料

余维娜^[23]在再生骨料混凝土中添加适量的粉煤灰,发现粉煤灰的活性效应和形貌效应可弥补再生骨料自身缺陷,对再生骨料混凝土的工作性能改善较普通混凝土更明显,粉煤灰的掺入降低再生骨料混凝土前期的力学性能,但对后期力学强度影响很小;陈宗平等^[24]对 3 种类型的钢纤维再生混凝土(铣削型、波纹型、端钩型)进行力学性能试验,结果显示再生骨料混凝土力学性能受端钩形钢纤维构件的改善效果最为显著,而其掺入量对再生混凝土劈裂抗拉强度影响最为显著;Silva 等^[27]研究表明,高效减水剂和矿物掺合料的添加有利于改善再生混凝土的力学性能;Qasrawi 等^[28]研究发现,钢渣有利于提高再生混凝土的力学性能;Dilbas 等^[29]在再生混凝土中掺入硅粉,发现硅粉有利于改善再生混凝土力学性

能;Barbudo 等^[30]指出 1% 的高效减水剂可增强再生混凝土力学性能;文献[16,31]均说明再生陶瓷砖、废旧陶瓷和陶瓷残渣可改善再生混凝土力学性能;Lima 等^[32]将粉煤灰加入再生混凝土,结果表明,粉煤灰可明显改善再生混凝土的力学性能;Frazao 等^[33]研究表明,钢渣有利于提高再生混凝土的力学性能;Qin 等^[34]研究表明,单个纤维微观半径为 17.4 μm,宏观长为 30 mm、宽为 3 mm、平均厚度为 0.42 mm 聚丙烯纤维织物可使得再生混凝土的力学性能达到 6.15%;王建超等^[35]发现,碳纤维可显著提高再生混凝土的力学强度,当碳纤维长度和纤维掺量分别为 6 mm 和 0.12% 时,再生混凝土强度达到最大,其中,随着龄期增加强度逐渐增大,但增大趋势逐渐减缓;王社良等^[36]分析得出,粉煤灰可改善混凝土的施工和易性,但其活性较低,掺入后会使得混凝土早期强度过低,而硅粉可显著改善混凝土的强度,但由于其比表面积较大会使得吸水率增加,易造成混凝土施工和易性降低。

因此,高效减水剂、钢纤维、钢渣、碳纤维、纤维织物以及废旧陶瓷砖的掺入显著影响再生混凝土力学性能,粉煤灰的加入可有效提高再生混凝土的工作性能,但引起早期强度过低,硅粉可改善再生混凝土的力学特能。

3.3 再生混凝土的配制及压实方式

郭鹏等^[10]指出,再生混凝土配置过程中,不同的搅拌方式影响再生混凝土力学性能,搅拌方式的改善可增强水泥砂浆界面过渡区的密实性;Manzi 等^[17]采用旋转压实方法制备再生混凝土比天然普通混凝土有着更高力学性能;Bui 等^[37]仅用再生骨料替代较大尺寸的天然粗骨料,可明显提高再生混凝土力学性能;霍洪媛等^[38]研究发现,随着再生骨料强度的增强,骨料强度对再生混凝土力学性能的影响逐渐减小;张学兵等^[39]研究发现,采用两阶段的制备工艺,可显著增强再生混凝土的强度、改善其工作性能;张鸿儒等^[40]指出,采用纳米材料浆液对再生粗骨料表面进行浸渍、裹浆处理有利于提高再生混凝土的力学性能。

以上研究表明,再生混凝土的配置、成型及压实方式影响着再生混凝土的力学性能。在实际工程中可根据具体需要采用合适的配置、成型方法以及压实方式来制备再生混凝土构件。

3.4 砂浆

Frazao 等^[33]对废旧混凝土进行碳化处理,能

够提高再生混凝土的力学特性,改善黏附砂浆的强度及新、旧混凝土界面过渡区强度,且是一种环境友好型的方法;张鸿儒等^[40]指出,再生混凝土中多种界面过渡区的存在是其力学性能较低的主要因素;齐秀山等^[42]采用机械强化的方法获得再生粗骨料,经过一系列再生混凝土力学性能试验得出,与普通破碎相比,机械强化有利于提高再生混凝土的力学性能;Dimitriou 等^[43]通过对骨料外围黏附砂浆的处理和内部养护剂的应用来改善再生骨料混凝土的力学特性;崔正龙等^[44]研究表明,不同砂浆强度对再生骨料混凝土力学性能有着不同的影响,再生混凝土旧砂浆强度高于新砂浆强度时,对再生混凝土力学性能并无较大改变,旧砂浆强度低于新砂浆强度时,力学性能明显降低;雷斌等^[45]研究发现,随着新老界面过渡区强度的增加,再生混凝土力学性能得到改善;Medina 等^[46]通过纳米压痕技术和电子扫描显微镜技术得出,界面过渡区厚度会影响再生混凝土力学性能。

综上所述,再生混凝土界面过渡区的复杂性是其力学性能较低的主要因素,为增加其力学性能可采用合适的方法去除旧的水泥砂浆并采用合适的破碎方式来改善再生混凝土的力学性能。

3.5 总结

基于国内外学者对再生混凝土研究现状的归纳,再生混凝土的发展趋势如图 1 所示。

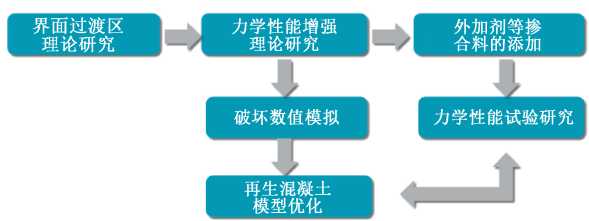


图 1 再生混凝土发展趋势

Figure 1 Development trend of recycled concrete

4 结论及展望

(1)相比于天然混凝土,再生混凝土界面过渡区为再生混凝土的薄弱区域,须加强对界面过渡区的理论研究,并积极探讨废旧混凝土再生骨料包裹水泥砂浆的去除方法。

(2)为增强再生混凝土的力学性能,前期的理论研究可集中在再生骨料取代率、取代尺寸范围的量化及优化;但再生骨料来源复杂,力学性能具有一定的差异性,在后期为进一步推广再生混凝土应用于实际工程,应对再生骨料来源及分类

规范化、标准化,增强现有研究成果的对比性,避免重复试验造成资源浪费,便于研究成果的推广与应用。

(3)研究表明,适量的外加剂或矿物掺合料的加入可不同程度地改善再生混凝土的抗压强度、抗拉强度,需根据具体要求选择合适高效减水剂、钢渣、钢纤维、碳纤维、硅粉及粉煤灰来改善再生混凝土的力学性能;后期研究应从废旧混凝土制备方法改善、合适外加剂掺入等综合增强措施方面着手,确定再生混凝土最优增强措施。

(4)关于再生混凝土增强后破坏模型的研究尚未开展,而再生混凝土增强后的破坏模型的建立能为再生骨料混凝土广泛而高效地利用提供一定理论指导,因此,该方面的研究亟待开展。

(5)受旧骨料再生混凝土模型可行性的启发,可通过对模型进一步的细化来提高模型的精确性,降低敏感性,以数值模拟结果指导力学试验,增强力学试验的目的性,加快试验进度,起到开源节流的目的。

参考文献:

[1] 郑元勋,杨培冰,康海贵.冻融环境下混凝土结构耐久性研究综述[J].郑州大学学报(工学版),2016,37(5):27-32.

[2] 梁芮,于江,秦拥军.废弃混凝土再生骨料的研究综述[J].混凝土,2013(5):93-96,100.

[3] 王娟,王会娟,许耀群,等.单轴荷载作用下混凝土强度代表体尺寸定量研究[J].郑州大学学报(工学版),2018,39(1):12-17,28.

[4] 徐胜堂,李文杰.微裂破碎水泥混凝土路面加铺层结构设计研究[J].河南科技,2019(13):124-128.

[5] PAUL S C, PANDA B, GARG A. A novel approach in modelling of concrete made with recycled aggregates [J]. Measurement, 2018, 115: 64-72.

[6] TOPÇU I B. Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete [J]. Cement and concrete research, 1997, 27(12): 1817-1823.

[7] 肖倍,安旭文,杨瑞,等.再生混凝土基本力学性能试验及其影响因素研究[J].混凝土,2018(11):32-36,40.

[8] 李文贵,龙初,罗智予,等.再生骨料混凝土破坏机理与改性研究综述[J].建筑科学与工程学报,2016,33(6):60-72.

[9] XIAO J Z, LI W G, SUN Z H, et al. Properties of interfacial transition zones in recycled aggregate concrete tested by nanoindentation [J]. Cement and concrete composites, 2013, 37(3): 276-292.

[10] 郭鹏,韦万峰,杨帆,等.再生集料及再生混凝土界面过渡区研究进展[J].硅酸盐通报,2017,36(7):

- 2280-2286,2292.
- [11] FOLINO P, XARGAY H. Recycled aggregate concrete- Mechanical behavior under uniaxial and triaxial compression [J]. Construction and building materials, 2014, 56: 21-31.
- [12] GONZÁLEZ-FONTEBOA B, MARTÍNEZ-ABELLA F. Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties [J]. Building and environment, 2008, 43(4): 429-437.
- [13] EVANGELISTA L, DE BRITO J. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates [J]. Cement and concrete composites, 2007, 29(5): 397-401.
- [14] BRAVO M, BRITO J D, PONTES J, et al. Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants [J]. Microscopy and microanalysis the official journal of microscopy society of america micro beam analysis society microscopical society of canada, 2015, 99(1): 59-74.
- [15] CABRAL A E B, SCHALCH V, MOLIN D C C D, et al. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete [J]. Construction and building materials, 2010, 24(4): 421-430.
- [16] KHALID F S, AZMI N B, SUMANDI K A S M, et al. Mechanical properties of concrete containing recycled concrete aggregate (RCA) and ceramic waste as coarse aggregate replacement [C]// The 18th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-18). Kedah, Malaysia; AIP Publishing, 2017: 020079.
- [17] MANZI S, MAZZOTTI C, CHIARA BIGNOZZI M. Self-compacting concrete with recycled concrete aggregate: Study of the long-term properties [J]. Construction and building materials, 2017, 157: 582-590.
- [18] GHORBANI S, TAJI I, DE BRITO J, et al. Mechanical and durability behaviour of concrete with granite waste dust as partial cement replacement under adverse exposure conditions [J]. Construction and building materials, 2019, 194: 143-152.
- [19] 杨海峰, 蒋家盛, 李德坤, 等. 机制砂再生混凝土基本力学性能与微观结构分析 [J]. 硅酸盐通报, 2018, 46(12): 3946-3950.
- [20] XIAO J Z, LI L, SHEN L M, et al. Compressive behaviour of recycled aggregate concrete under impact loading [J]. Cement and concrete research, 2015, 71: 46-55.
- [21] LI T, XIAO J Z, ZHU C M, et al. Experimental study on mechanical behaviors of concrete with large-size recycled coarse aggregate [J]. Construction and building materials, 2016, 120: 321-328.
- [22] 姚宇峰, 金宝宏, 章海刚, 等. 再生粗骨料替代率对再生混凝土力学性能影响 [J]. 广西大学学报(自然科学版), 2016, 41(4): 1187-1193.
- [23] 余维娜. 废旧水泥混凝土再生集料路用性能研究 [D]. 广州: 广州大学, 2016.
- [24] 陈宗平, 占东辉, 徐金俊. 再生粗骨料含量对再生混凝土力学性能的影响分析 [J]. 工业建筑, 2015, 45(1): 130-135.
- [25] 杨青. 再生骨料的吸水率对再生混凝土物理力学性能的影响研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [26] JIANG J Y, ZHOU W J, GAO Y, et al. Feasibility of manufacturing ultra-high performance cement-based composites (UHPCs) with recycled sand: a preliminary study [J]. Waste management, 2019, 83: 104-112.
- [27] SILVA R V, DE BRITO J, DHIR R K. Tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete [J]. Construction and building materials, 2015, 83: 108-118.
- [28] QASRAWI H. The use of steel slag aggregate to enhance the mechanical properties of recycled aggregate concrete and retain the environment [J]. Construction and building materials, 2014, 54: 298-304.
- [29] DILBAS H, ŞİMŞEK M, ÇAKIR Ö. An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume [J]. Construction and building materials, 2014, 61: 50-59.
- [30] BARBUDO A, BRITO J D, EVANGELISTA L, et al. Influence of water-reducing admixtures on the mechanical performance of recycled concrete [J]. Journal of cleaner production, 2013, 59: 93-98.
- [31] CACHIM P B. Mechanical properties of brick aggregate concrete [J]. Construction and building materials, 2009, 23(3): 1292-1297.
- [32] LIMA C, CAGGIANO A, FAELLA C, et al. Physical properties and mechanical behaviour of concrete made with recycled aggregates and fly ash [J]. Construction and building materials, 2013, 47: 547-559.
- [33] FRAZAO C, DÍAZ B, BARROS J, et al. An experimental study on the corrosion susceptibility of recycled steel fiber reinforced concrete [J]. Cement and concrete composites, 2019, 96: 138-153.
- [34] QIN Y, ZHANG X W, CHAI J R, et al. Experimental study of compressive behavior of polypropylene-fiber-reinforced and polypropylene-fiber-fabric-reinforced concrete [J]. Construction and building materials, 2019, 194: 216-225.
- [35] 王建超, 陆佳韦, 周静海, 等. 碳纤维再生混凝土力学性能的试验研究 [J]. 混凝土, 2018(12): 95-99, 103.
- [36] 王社良, 于洋, 张博, 等. 粉煤灰和硅粉对再生混凝土力学性能影响的试验研究 [J]. 混凝土, 2011(12): 53-55.
- [37] BUI N K, SATOMI T, TAKAHASHI H. Improvement of mechanical properties of recycled aggregate concrete basing on a new combination method between recycled

aggregate and natural aggregate [J]. Construction and building materials, 2017, 148:376-385.

[38] 霍洪媛,范程程,陈爱玖,等.不同强度等级的再生骨料对再生混凝土基本力学性能影响[J].混凝土, 2017(2):60-62,65.

[39] 张学兵,方志,匡成钢,等.制备工艺对再生骨料混凝土性能的影响[J].工业建筑, 2012, 42(2):101-106.

[40] 张鸿儒.基于界面参数的再生骨料混凝土性能劣化机理及工程应用[D].杭州:浙江大学,2016.

[41] MANZI S, MAZZOTTI C, BIGNOZZI M C. Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate[J].Cement and concrete composites, 2013,37:312-318.

[42] 齐秀山,李秋义,王军委.不同掺量的强化再生骨料与简单再生骨料对再生混凝土力学性能影响的试验研究[J].工程建设,2015,47(1):1-6.

[43] DIMITRIOU G, SAVVA P, PETROU M F. Enhancing mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete[J].Construction and building materials, 2018, 158:228-235.

[44] 崔正龙,路沙沙,汪振双.不同强度砂浆界面过渡区对再生骨料混凝土性能的影响[J].硅酸盐通报, 2011,39(3):545-549.

[45] 雷斌,李召行,熊进刚,等.基于细观尺度的再生混凝土性能研究综述[J].硅酸盐通报,2017,36(6):1921-1928.

[46] MEDINA C, ZHU W Z, HOWIND T, et al. Influence of interfacial transition zone on engineering properties of the concrete manufactured with recycled ceramic aggregate[J].Journal of civil engineering and management, 2014,21(1):83-93.

The Overview on Failure Mechanism and Strengthening Measure of Mechanical Properties for Recycled Concrete

SHAO Yunhong^{1,3}, PANG Yafeng², ZHENG Yuanxun³, KONG Weixing³

(1.Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China; 2.The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3.School of Water Conservancy Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The recycling of waste concrete was in line with Chinese basic national policy of green environmental protection and sustainable development. Therefore, It was one of the urgent problems to be solved to effectively improve the mechanics and road performance of recycled concrete based on the research of recycled concrete failure model, and expand its application in infrastructure construction. Combined with the latest domestic and foreign research status, this paper summarized the studis of the failure mechanism and failure mode of recycled concrete from the aspects of compressive strength, tensile splitting strength and elastic modulus. On this basis, the replacement rate of recycled aggregate, type of recycled aggregate, specimen forming method, admixture addition, and addition of steel slag, steel fiber, carbon fiber, fiber fabric and addition of mineral fillers such as fly ash or silica powder were analyzed to strength mechanical properties of recycled concrete. The results had an important guiding role in strengthening the research mechanism of waste concrete collapse and mechanical strengthening measures, and provided reference for further improving the recycling and widespread promotion of waste coagulation.

Key words: recycled concrete; failure mechanism; strengthening measures; mechanical properties