

文章编号:1005-0523(2020)05-0031-07

细观尺度下橡胶混凝土钢筋非均匀锈胀反力研究

田清荣^{1,2}, 金浩^{1,2}

(1.同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804;2.上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室,上海 201804)

摘要:钢筋锈蚀会导致橡胶集料混凝土开裂,降低橡胶集料混凝土结构耐久性。钢筋锈蚀膨胀引起的锈胀反力变化可大致反映橡胶集料混凝土的开裂过程。对橡胶集料混凝土内单根钢筋均匀锈蚀膨胀产生的反力进行细观数值模拟研究。结果表明:随着钢筋锈蚀程度的增加,钢筋锈胀反力先增加后减小,锈胀反力拐点出现时机对应混凝土开裂时机;钢筋锈蚀时总是钢筋上半区砂浆最先破坏,且混凝土保护层厚度越小,橡胶集料混凝土开裂越容易;保护层厚度不变,钢筋直径越大,橡胶集料混凝土开裂越容易;在本计算模型中,在拐点产生后,钢筋平均锈胀反力的大小关系对应橡胶集料含量为 $10\% > 5\% > 8\%$ 。研究结果对橡胶集料混凝土锈蚀反力研究具有指导意义。

关键词:橡胶集料混凝土;钢筋锈蚀;真实骨料;细观数值模拟;锈胀反力

中图分类号:TU375

文献标志码:A

本文引用格式:田清荣,金浩.细观尺度下橡胶混凝土钢筋非均匀锈胀反力研究[J].华东交通大学学报,2020,37(5):31-37.

Citation format: TIAN Q R, JIN H. Study on non-uniform rust expansion reaction force of rubber concrete reinforcement at mesoscopic scale[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2020, 37(5): 31-37.

橡胶集料混凝土不仅能增加混凝土的韧性,改善其抗冲击性能和抗震性能,而且能解决大量废旧橡胶的回收利用问题。橡胶集料混凝土作为极具前景的研究内容,学者们针对其静力学性能和工作性能进行了大量研究^[1-4],除此之外,在动力学研究方面,金浩首次将橡胶集料混凝土应用于轨道减振领域,提出了橡胶混凝土隔振基础,即橡胶混凝土道床^[5]。

钢筋混凝土结构是世界上应用最为普遍、范围最广的结构形式,在现代化建筑中均能找到钢筋混凝土结构的身影。耐久性是钢筋混凝土结构应具有的基本功能之一。钢筋混凝土结构在使用过程中不可避免会发生钢筋锈蚀现象,钢筋锈蚀会导致钢筋横截面减小、钢筋与混凝土间粘结作用减弱,钢筋的锈蚀体积膨胀会使得混凝土开裂甚至脱落,严重影响钢筋混凝土结构的耐久性。

针对钢筋混凝土结构的钢筋锈蚀现象,许多学者通过实验和数值模拟方法研究钢筋混凝土结构的钢筋锈蚀。干伟忠等^[6]利用电化学加速锈蚀试验,研究电化学加速锈蚀试验对模拟自然环境条件下混凝土钢筋锈蚀的适用性。张伟平等^[7]从钢筋锈蚀特征、锈后力学性能、锈胀形态、锈蚀梁受弯性能以及破坏形态等方面对比分析了自然锈蚀和外加电流加速锈蚀两种锈蚀条件,认为外加电流加速锈蚀法在一定程度上可以模拟自然锈蚀。冯琼等^[8]针对通电加速锈蚀试验偏离自然锈蚀过程,提出在砂土中喷洒盐溶液作为电解质代替传统盐溶液的通电加速锈蚀试验方法。Di Qiao等^[9]设计单根钢筋非均匀局部加速锈蚀试验,研究了单根非均匀局部锈蚀对混凝土锈胀裂缝形态的影响。Zhao Yuxi等^[10]研究了钢筋锈蚀引起的混凝土保护层损伤,建立了基于损伤力学和弹性力学的混凝土钢筋锈蚀开裂分析模型,并在此基础上,讨论了锈胀压力和钢筋的径向损失。杨晓明等^[11]基于保护层厚度展开对锈蚀率与锈胀裂缝宽度的关系研究,得出了钢筋位于角区时钢筋锈蚀率与锈胀裂缝的定量关系。Zhang Qiang等^[12]通过电化学加速锈蚀技术

收稿日期:2020-06-16

基金项目:国家自然科学基金项目(51908428);上海市自然科学基金项目(19IR1460400)

作者简介:田清荣(1997—),男,硕士研究生,研究方向为橡胶集料混凝土。E-mail:891115652@qq.com。

通信作者:金浩(1986—),男,助理教授,博士,研究方向为轨道交通混凝土结构耐火性。E-mail:jinhao@tongji.edu.cn。

研究得出钢筋在粉煤灰混凝土中的耐腐蚀性能优于普通混凝土。Cheng Xuedong 等^[13]基于混凝土损伤塑形,在钢筋圆周上施加非均匀强制径向位移,建立二维数值模型研究了钢筋不均匀锈蚀对于混凝土裂缝扩展的影响。

真实混凝土是一种非均匀复合材料,并非均质体,针对混凝土的非均匀性,学者采用混凝土细观模型进行了钢筋锈蚀研究。张仁波等^[14]对两根相邻钢筋非均匀锈蚀膨胀引发的混凝土保护层破坏行为进行了细观数值模拟研究,以施加强制径向位移的方式模拟钢筋的非均匀锈胀作用,建立了混凝土保护层开裂分析的细观尺度模型。Du Xiuli 和 Jin Liu^[15]将混凝土结构看作骨料、砂浆、界面的三相复合材料,以施加强制位移的方式模拟钢筋的均匀锈胀,研究了钢筋锈蚀对于混凝土保护层开裂的影响。Jin Liu 等^[16]考虑混凝土的非均匀性,建立钢筋非均匀锈蚀的细观数值模型,研究了角钢混凝土保护层的开裂行为。

目前,大部分钢筋锈蚀的研究都是针对普通混凝土。有关橡胶集料混凝土的钢筋锈蚀研究,如:Liang Jian 等^[17]通过橡胶集料混凝土梁的加速锈蚀研究,得出橡胶含量越多,混凝土的抗裂性能越好。Zhu Han 等^[18]进行橡胶集料混凝土加速锈蚀试验,研究不同温度下橡胶集料混凝土抗氯离子侵蚀性能。

橡胶混凝土是一种不均匀多相复合材料,由骨料、砂浆、橡胶等组成,宏观模型不能解释内部结构的相互作用以及随机性,难以体现橡胶对钢筋锈胀反力的影响,微观模型则需要进行海量计算。考虑橡胶集料混凝土非均匀性,建立基于真实骨料形状的二维细观数值模型,研究钢筋邻接处砂浆节点锈胀反力随锈蚀程度增加的变化趋势。

1 橡胶集料混凝土细观计算模型

1.1 混凝土真实骨料建模方法

采用基于真实骨料几何边界的混凝土模型创新方法^[19-20]。通过激光扫描仪对真实骨料进行三维形状扫描并重建骨料形状,在此基础上,获取真实骨料几何控制点,通过平面随机移动几何控制点形成基于真实骨料的几何形状骨料库,最后在满足骨料集配和不重叠原则等基础上从骨料库中随机投放生成基于真实骨料形状的混凝土细观模型。

1.2 橡胶集料混凝土细观模型

考虑橡胶集料混凝土的非均匀性,将橡胶集料混凝土看作是由骨料、砂浆、橡胶集料、骨料-砂浆界面和橡胶-砂浆界面形成的多相复合材料,如图 1 所示。骨料和橡胶集料均采用真实骨料建模方法,以粒径大小为控制指标分别生成骨料和橡胶集料,其中骨料粒径范围为 5~25 mm,橡胶集料粒径范围为 3~5 mm。本文认为钢筋在橡胶集料混凝土中产生锈蚀膨胀时,主要是砂浆、骨料界面和橡胶界面等内部薄弱环节产生破坏,骨料和橡胶集料不破坏;因此骨料和橡胶集料采用线弹性本构模型,而砂浆和界面是混凝土内部的脆弱部分,采用 ABAQUS 内置的混凝土塑形损伤本构模型(CDP)。

橡胶集料细观组分材料参数取值如表 1 所示,在构建骨料-砂浆界面和橡胶-砂浆界面时,骨料-砂浆界面厚度取 0.5 mm,橡胶-砂浆界面厚度取 0.2 mm。

表 1 橡胶集料混凝土细观模型材料参数^[21]

Tab.1 Material parameters for the mesoscopic model of rubberized concrete

材料性能	弹性模量/MPa	泊松比	抗拉强度/MPa	抗压强度/MPa
粗骨料	40 000	0.2	-	-
砂浆	20 000	0.2	2.8	42
骨料-砂浆界面	10 000	0.2	1.8	27
橡胶砂浆界面	6 000	0.2	1.0	15
橡胶	78	0.49	-	-

如图 2 所示,橡胶集料混凝土细观模型在 X, Y 方向尺寸均为 150 mm,试件下边界固定 Y 向位移,在钢筋的圆周施加 $5 \mu\text{m}$ 的径向位移来模拟钢筋的锈蚀产生的体积膨胀,钢筋锈蚀产物全用于形成锈胀位移^[22],则钢筋的锈胀位移可反映钢筋的锈蚀程度^[23-24], c 和 d 分别为钢筋保护层厚度和钢筋直径。

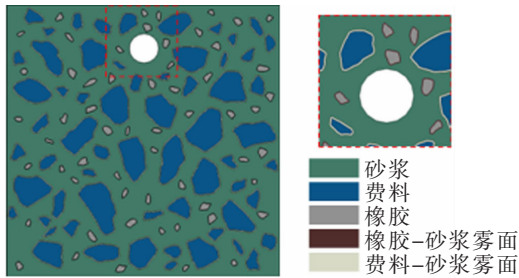


图 1 橡胶集料混凝土细观组分

Fig.1 Micro-structure of rubberized concrete

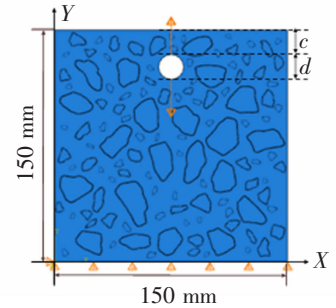


图 2 荷载及边界条件

Fig.2 Load and boundary conditions

2 分析工况

根据第 1 节所述橡胶集料混凝土细观建模方法,建立不同保护层厚度、不同钢筋直径以及不同橡胶集料含量的单根钢筋橡胶集料混凝土细观模型。

研究工况如表 2 所示,当进行保护层厚度研究时,保护层厚度为 16,24,32 mm,钢筋直径和橡胶集料含量保持不变,分别为 16 mm 和 5%;当进行钢筋直径研究时,钢筋直径为 12,14,16 mm,保护层厚度和橡胶集料含量保持不变,分别为 16 mm 和 5%;当进行橡胶集料含量研究时,橡胶集料含量为 5%,8%,10%,保护层厚度和钢筋直径保持不变,为 16 mm。

在钢筋圆周上设置 8 个锈胀反力观测点,将圆心沿 Y 轴正向反力点编号为 1,每 45° 设置 1 个观测点,则钢筋圆周上下左右 4 个方向对应编号分别为 1,5,7,3,钢筋圆周锈胀反力测点编号分布如图 3 所示,1,2,8 编号为钢筋上半圆周,4,5,6 编号为钢筋下半圆周。锈胀反力是钢筋锈胀程度增加,锈胀位移增大时,与钢筋邻接处砂浆节点上产生的法向力指向钢筋圆心,可以代表钢筋锈蚀对砂浆产生的不均匀锈胀力。

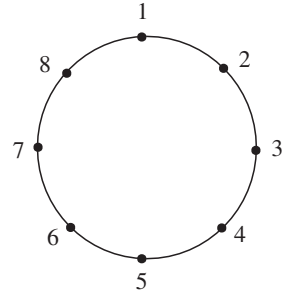


图 3 锈胀反力测点分布

Fig.3 Distribution of expansion reaction points

表 2 计算工况表
Tab.2 Calculated working condition

参数	工况	保护层厚度/mm	钢筋直径/mm	橡胶集料含量/%
保护层厚度	1	16	16	5
	2	24	16	5
	3	32	16	5
钢筋直径	4	16	12	5
	5	16	14	5
	6	16	16	5
橡胶集料含量	7	16	16	5
	8	16	16	8
	9	16	16	10

3 计算结果分析

3.1 保护层厚度对钢筋锈胀反力的影响

不同保护层厚度下钢筋锈胀反力如图 4 所示。由图可知,在各保护层厚度下,钢筋锈蚀程度的增大,钢筋圆周各处锈胀反力随之增大,且锈蚀量增大到一定程度后,钢筋锈胀反力曲线出现拐点,拐点以后,钢筋锈蚀程度继续增加,钢筋锈胀反力不再增加,但钢筋最下端 5 号位置反常,随着锈蚀程度的增大,此处钢筋锈胀反力持续增大,且最终的最大锈胀反力总是出现在该位置。

对钢筋锈胀反力拐点进行分析,锈胀反力的变化过程对应橡胶混凝土内部砂浆及界面的开裂过程,锈胀反力的增加表明砂浆的承载,反力拐点的出现则代表砂浆无法继续受力,砂浆承载性能消失,即钢筋附近砂浆产生开裂。拐点出现的越早则表示此处开裂越早。可通过锈胀反力拐点的产生时机判断橡胶集料混凝土的开裂。由于 5 号位置处于钢筋最下端,难以开裂,钢筋锈胀反力持续增加。

对比不同保护层厚度锈胀反力分布可知,在锈胀反力到达拐点之前,各节点处锈胀反力线性增加,超过拐点之后,各节点反力离散程度增加,即表明了钢筋圆周各处砂浆开裂所能承受的锈胀极限荷载的差异,即保护层厚度越小,拐点出现越早。当保护层厚度为 32 mm 时,钢筋锈胀反力拐点横坐标趋向于统一,即保护层厚度越小,橡胶集料混凝土越容易开裂,且保护层厚度为 32 mm 时,钢筋圆周各处砂浆趋向于同时开裂。

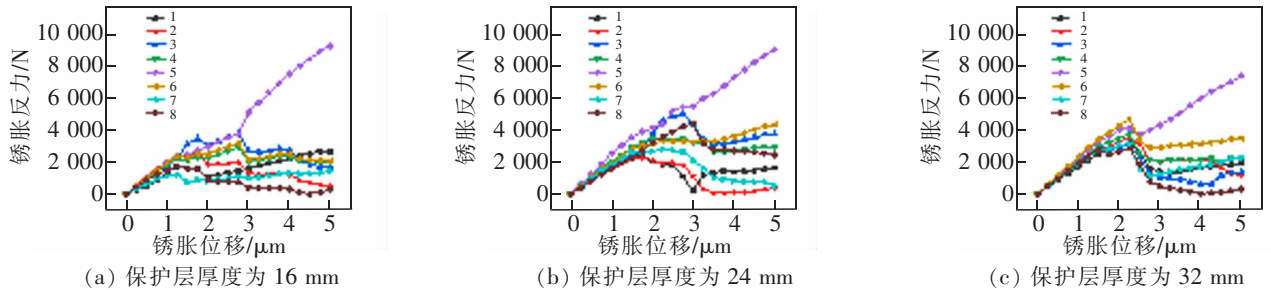


图 4 不同保护层厚度钢筋锈胀反力

Fig.4 Rust expansion reaction of steel bars with different cover thickness

图 5 是不同保护层厚度钢筋各位置平均锈胀反力曲线,平均锈胀反力是钢筋 8 个节点处锈胀反力的平均值。由图可知,钢筋平均锈胀反力也随锈蚀程度的增加而先增加后降低,且表现为保护层厚度越大,钢筋拐点对应锈蚀程度越大。

3.2 钢筋直径对钢筋锈胀反力分布的影响

不同钢筋直径下钢筋锈胀反力分布如图 6 所示。由图可知,当钢筋直径为 16 mm 时,钢筋圆周节点编号 5 处反力在锈胀位移到达 3 μm 附近产生突增。

对比不同钢筋直径钢筋锈胀反力分布,可知钢筋上半圆周锈胀反力拐点较钢筋下半圆周锈胀反力拐点出现早,且随着钢筋直径的增大,钢筋下半区锈胀反力拐点出现时机提前,即钢筋直径越大,橡胶集料混凝土越容易开裂。

在保护层厚度不产生变化的情况下,随着钢筋直径的增大,钢筋下半圆周会趋向于靠近橡胶集料混凝土中的骨料或橡胶组分,使得下半圆周附近混凝土开裂更快,即钢筋下半圆周锈胀反力拐点整体前移。

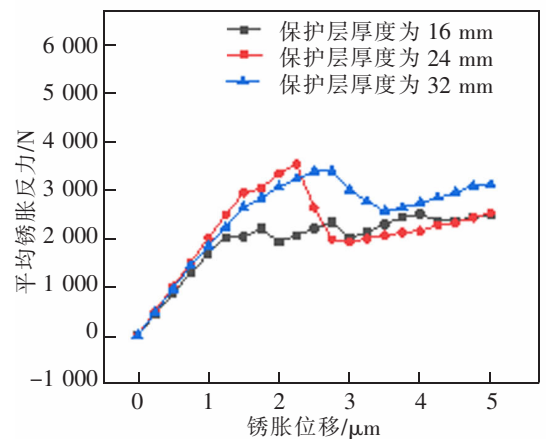


图 5 不同保护层厚度钢筋平均锈胀反力

Fig.5 Average rust expansion reaction of steel bars with different cover thickness

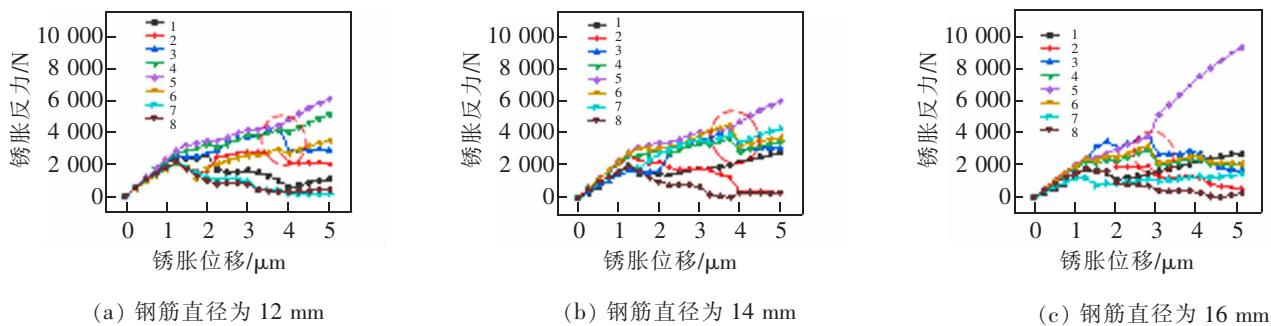


图 6 不同钢筋直径钢筋锈胀反力

Fig.6 Rust expansion reaction of steel bars with different diameters

图 7 是不同钢筋直径下钢筋平均锈胀反力曲线,由图可知,钢筋平均锈胀拐点在各钢筋直径条件下基本同时出现,且在拐点之后,钢筋直径为 14 mm 时钢筋锈胀反力平均值最大,直径为 16 mm 时钢筋锈胀反力平均值最小。

3.3 橡胶集料含量对钢筋锈胀反力分布的影响

不同橡胶集料含量钢筋圆周锈胀反力分布如图 8 所示。由图可知,随着橡胶集料含量的增大,钢筋锈胀反力并未表现出明显规律。橡胶集料含量为 5% 时,节点 5 处反力在锈胀位移 3 μm 附近出现激增,橡胶集料为 8% 时,数值模型未计算到预设锈胀位移 5 μm,但除节点 5 外其余节点位置反力拐点出现位置较为统一,节点 5 处反力持续增加。橡胶集料含量为 10% 时,节点 2,8,6 位置处反力在拐点处产生较大幅度下降。

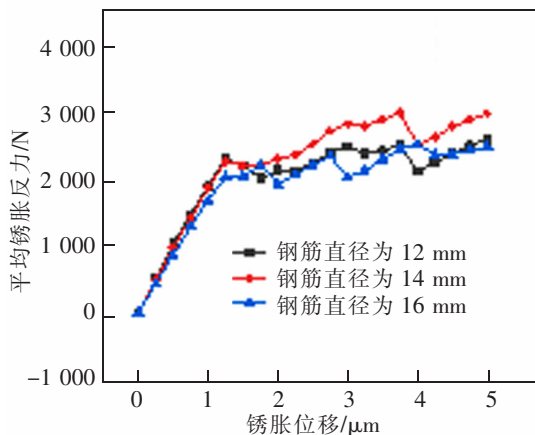


图 7 不同钢筋直径钢筋平均锈胀反力

Fig.7 Average rust expansion reaction of steel bars with different diameters

针对橡胶集料含量变化未产生明显锈胀反力规律,认为钢筋锈蚀膨胀在橡胶集料位置产生应力集中,橡胶集料的位置、粒径、分布会影响混凝土的开裂。随着橡胶集料含量的增加,钢筋锈胀反力及拐点并未产生明显规律。同时节点 2,8,6 拐点值对应锈胀反力较大,是由于橡胶集料含量增加了混凝土开裂所需能量。

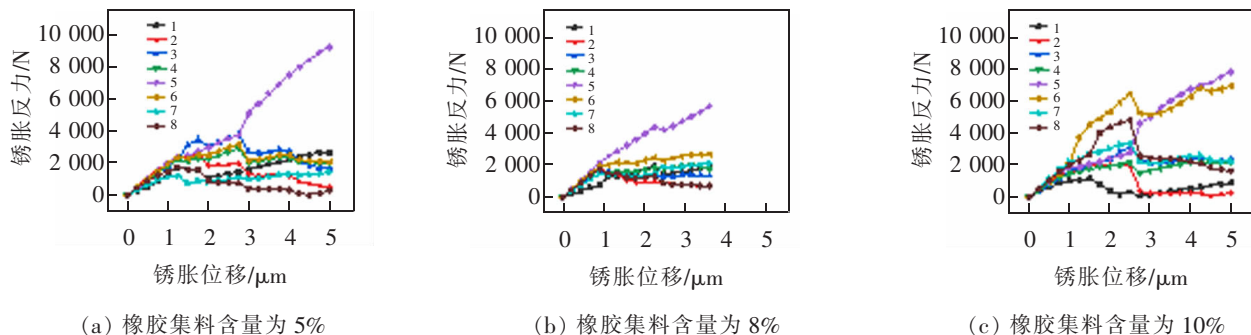


图 8 不同橡胶集料含量钢筋锈胀反力

Fig.8 Rust expansion reaction of steel bars with different rubber contents

图9是不同橡胶集料含量下钢筋平均锈胀反力曲线,由图可知,钢筋平均锈胀反力拐点最先出现在橡胶含量为8%的情况,最迟出现在钢筋直径为10%的情况,且平均锈胀反力在拐点后的大小表现为 $10\% > 5\% > 8\%$,骨料位置及形状无任何改变,这可能是模型橡胶含量变化时,在进行橡胶颗粒投放时,由于橡胶位置、形状以及钢筋附近区域橡胶含量的不确定而导致的。

4 结论

针对钢筋在橡胶集料混凝土中的锈胀问题,考虑橡胶集料混凝土的非均匀性,将橡胶集料混凝土看作是骨料、砂浆、橡胶、骨料-砂浆界面和橡胶-砂浆界面的复合材料,建立了单根钢筋均匀锈蚀的橡胶集料混凝土二维细观模型,研究了在不同保护层厚度、不同钢筋直径、不同橡胶集料下的钢筋锈胀反力,得出以下结论:

1) 随着钢筋锈蚀程度的增加,钢筋锈胀反力先增加后降低,即锈胀反力曲线产生拐点,锈胀反力曲线拐点出现时机对应砂浆破坏时机。

2) 随着保护层厚度的增加,钢筋锈胀反力拐点出现时机延迟,即保护层厚度越小,橡胶集料混凝土越容易产生开裂。随着保护层厚度的增加,砂浆节点的锈胀反力拐点横坐标离散性降低,即保护层厚度影响了砂浆各节点的开裂顺序。

3) 随着钢筋直径的增加,钢筋圆周下半圆周锈胀反力拐点出现时机提前,即钢筋直径越大,橡胶集料混凝土越容易开裂。

4) 在本研究条件下,钢筋平均锈胀反力拐点最先出现在橡胶含量为8%的情况,最迟出现在钢筋直径为10%的情况,且平均锈胀反力在拐点后的大小表现为 $10\% > 5\% > 8\%$,这是采用真实细观模型,橡胶在模型中的随机性导致的。

参考文献:

- [1] 严智卓,周金枝,周陈旭. 橡胶粒径及掺量对橡胶混凝土力学性能的影响[J]. 湖北工业大学学报,2018,33(4):87-89.
- [2] 张立群,张晓冉,张静轩,等. 橡胶颗粒掺量对水泥混凝土抗压及抗盐冻影响[J]. 河北建筑工程学院学报,2018,36(4):11-16.
- [3] GERGES N N,ISSA C A,FAWAZ S A. Rubber concrete:mechanical and dynamical properties[J]. Case Studies in Construction Materials,2018,9:e00184.
- [4] 刘松岸,刘亚飞. 改性处理对橡胶混凝土力学性能及耐久性影响研究[J]. 混凝土,2018(7):34-36.
- [5] 金浩. 基于改进蚁群算法梯式轨道及橡胶混凝土隔振基础优化研究[D]. 北京:北京交通大学,2013:103-116.
- [6] 干伟忠,金伟良,高明赞. 混凝土中钢筋加速锈蚀试验适用性研究[J]. 建筑结构学报,2011,32(2):41-47.
- [7] 张伟平,王晓刚,顾祥林,等. 加速锈蚀与自然锈蚀钢筋混凝土梁受力性能比较分析[J]. 东南大学学报(自然科学版),2006,36(S2):139-144.
- [8] 冯琼,乔宏霞,朱彬荣,等. 湿盐砂环境下钢筋混凝土加速锈蚀试验研究[J]. 材料科学学报,2018,21(4):568-575.
- [9] DI QIAO,HIKARU NAKAMURA,YOSHIHITO YAMAMOTO,et al. Crack patterns of concrete with a single rebar subjected to non-uniform and localized corrosion[J]. Construction and Building Materials,2016(116):366-377.
- [10] ZHAO YUXI,YU JIANG,JIN WEILIANG. Damage analysis and cracking model of reinforced concrete structures with rebar corrosion[J]. Corrosion Science,2011(53):3388-3397.
- [11] 杨晓明,杨治邦,杨亮. 基于不同保护层厚度下混凝土构件角区锈胀裂缝宽度与钢筋锈蚀率的关系研究[J]. 硅酸盐通报,2019,38(10):3332-3343.

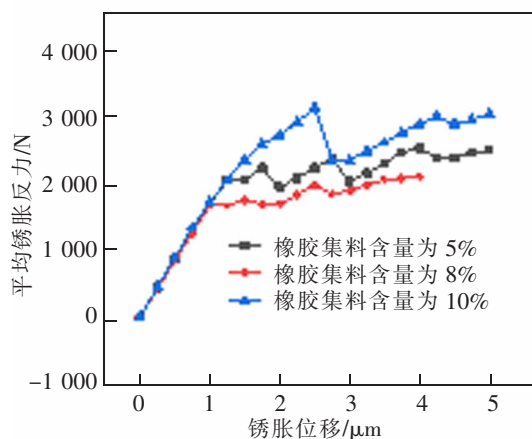


图9 不同橡胶集料含量钢筋平均锈胀反力
Fig.9 Average rust expansion reaction of steel bars with different rubber contents

- [12] ZHANG QIANG, LI YAOZHUANG, XU LEI, et al. Bond strength and corrosion behavior of rebar embedded in straw ash concrete[J]. *Construction and Building Materials*, 2019(205): 21–30.
- [13] CHENG XNDONG, SU QIAOZHI, MA FENGLEI, et al. Investigation on crack propagation of concrete cover induced by non-uniform corrosion of multiple rebars[J]. *Engineering Fracture Mechanics*, 2018(201): 366–384.
- [14] 张仁波, 杜修力, 金浏. 相邻钢筋非均匀锈蚀引发混凝土保护层开裂的细观数值模拟[J]. *建筑科学与工程学报*, 2014, 31(3): 98–104.
- [15] DU XIULI, LIU JIN. Meso-scale numerical investigation on cracking of cover concrete induced by corrosion of reinforcing steel [J]. *Engineering Failure Analysis*, 2014(39): 21–33.
- [16] LIU JIN, ZHANG RENBO, DU XIULI, et al. Investigation on the cracking behavior of concrete cover induced by corner located rebar corrosion[J]. *Engineering Failure Analysis*, 2015(52): 129–143.
- [17] LIANG JIAN, ZHU HAN, CHEN LEI, et al. Rebar corrosion investigation in rubber aggregate concrete via the chloride electro-accelerated test[J]. *Materials*, 2019, 12, 862.
- [18] ZHU HAN, LIANG JIAN, XU JIE, et al. Research on anti-chloride ion penetration property of crumb rubber concrete at different ambient temperatures[J]. *Construction and Building Materials*, 2018, 189: 42–53.
- [19] ZHOU YULIANG, JIN HAO, WANG BINLONG. Modeling and mechanical influence of meso-scale concrete considering actual aggregate shapes[J]. *Construction and Building Materials*, 2019, 228: 116785.
- [20] 周瑜亮, 金浩. 基于骨料形态的细观混凝土建模与裂缝研究[J]. *华东交通大学学报*, 2020, 37(3): 102–109.
- [21] 王娟, 管巧艳, 冯凌云, 等. 橡胶混凝土轴压强度细观数值仿真[J]. *中国科技论文*, 2016, 11(13): 1516–1519.
- [22] 董建锋. 氯盐环境与荷载作用下混凝土结构锈裂及剥落研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [23] 余朔, 金浩, 周顺华, 等. 氯离子及迷流共同作用下持荷盾构管片钢筋锈层形态[J]. *工程力学*, 2019, 36(7): 174–183.
- [24] 余朔, 金浩, 毕湘利. 荷载裂缝几何形态对管片外排钢筋锈层分布的影响[J]. *工程力学*, 2020, 37(4): 118–128.

Study on Non-Uniform Rust Expansion Reaction Force of Rubber Concrete Reinforcement at Mesoscopic Scale

Tian Qingrong^{1,2}, Jin Hao^{1,2}

- (1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;
2. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, Shanghai 201804, China)

Abstract: Corrosion of steel bars will lead to cracking of rubberized concrete and reduce the durability of rubberized concrete. The variation of rust expansion reaction caused by corrosion of steel bars can roughly reflect the cracking process of rubberized concrete. Therefore, in this paper, the reaction force caused by uniform corrosion and expansion of a single steel bar in rubberized concrete is studied through meso numerical simulation. The results show that: With the increase of corrosion degree of reinforcement, the steel rust expansion reaction first increases and then decreases, and the time of the inflection point of rust expansion reaction corresponds to the time of concrete cracking; With the increase of corrosion degree of reinforcement, the mortar in the upper half of the reinforcement is always damaged first; and the smaller the thickness of concrete protective layer, the easier the rubber aggregate concrete cracks; The thickness of the protective layer remains unchanged, and the larger the diameter of the reinforcement, the easier the rubberized concrete cracks; In the calculation model, the size relation of the average rust expansion reaction of reinforcement corresponds to the rubber aggregate content of 10% > 5% > 8%. The research results of this paper have guiding significance for the study of corrosion reaction of rubberized concrete.

Key words: rubberized concrete; reinforcement corrosion; actual aggregate; microscopic numerical simulation; rust expansion reaction