

[文章编号] 1003—4684(2021)05-0108-04

# 橡胶混凝土在框架梁中应用的数值分析

汪 洋, 李厚民, 柯俊宏, 吴克洋

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 以门型框架梁为研究对象,研究橡胶混凝土在结构中应用的可行性。在横梁和立柱交界处不同长度范围采用橡胶混凝土替代素混凝土,采用数值方法对比分析结构跨中的位移荷载曲线、首次开裂位置、开裂荷载以及极限荷载。研究表明:在结构中合理使用橡胶混凝土,能少量提高其承载能力。

[关键词] 橡胶混凝土; ANSYS; 框架结构; 开裂荷载; 极限荷载

[中图分类号] TU528 [文献标识码] A

掺入适量橡胶颗粒能提高混凝土的耐久性以及降噪能力<sup>[1]</sup>,为处理废旧橡胶提供了一种途径。相比于普通混凝土,橡胶混凝土不仅具有较好的减震性<sup>[2]</sup>,而且还具有良好的韧性<sup>[3]</sup>和抗冲击性<sup>[4]</sup>,因此目前被广泛地应用于机场跑道、港口和隧道。但随着橡胶掺量的增加,橡胶改性砂浆<sup>[5]</sup>与橡胶改性混凝土试件的抗压强度均减小<sup>[6-9]</sup>。强度的降低是橡胶混凝土未能在混凝土结构中广泛使用的原因之一。目前橡胶混凝土在框架结构中应用的研究很少。李成芳<sup>[10]</sup>和李浩然<sup>[11]</sup>分别将橡胶集料加入混凝土框架梁与框架-剪力墙横梁中研究了结构抗震能力。如何将橡胶混凝土合理地应用于工程中是亟需解决的问题之一。

为了研究橡胶改性混凝土在混凝土结构工程中应用的可行性,陶丽梅<sup>[12]</sup>以门型框架为研究对象,在横梁与立柱交界处用橡胶混凝土替代部分素混凝土,以试验的方式研究其承载能力。本文将在其基础上,以数值分析的方式研究橡胶混凝土在框架结构中应用的可行性,为今后相关研究提供参考。

## 1 模型简介

参考陶丽梅<sup>[12]</sup>的模型实验,以门型框架结构为研究对象,采用 C 25 的素混凝土和 20% 的橡胶掺量等体积替代细骨料的橡胶混凝土。结构长 1 m,宽 1 m。横梁和立柱的截面尺寸均为 150 mm×150 mm,钢筋主筋直径 12 mm,箍筋直径 8 mm。混凝土保护层厚度为 25 mm。结构配筋如图 1

所示。

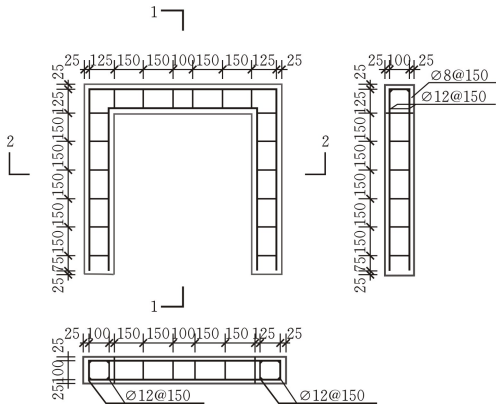


图 1 框架结构配筋

## 2 有限元模型的建立

由于门型框架梁为对称结构,约束及荷载均对称,故采用 1/4 模型进行模拟。

### 2.1 单元类型

本结构采用分离式建模,未考虑钢筋与混凝土之间的粘接与滑移。素混凝土和橡胶混凝土均采用 SOLID65 单元进行模拟,垫块采用 SOLID45 单元模拟,主筋和箍筋采用线单元 LINK180 模拟,钢筋的横截面积用实常数加以定义。

### 2.2 材料性质

主筋和箍筋采用 BKIN 模型,弹性模量为 210 GPa,泊松比为 0.3,主筋屈服强度为 300 MPa,箍筋屈服强度为 270 MPa。素混凝土和橡胶混凝土采用 MISO 模型,开裂剪力传递系数 0.5,闭合剪力

[收稿日期] 2021—01—12

[第一作者] 汪 洋(1994—),男,湖北黄冈人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为工程力学

[通信作者] 李厚民(1971—),男,湖北宜城人,湖北工业大学副教授,研究方向为结构工程和工程力学

传递系数 0.95。C25 混凝土抗拉强度和抗压强度均采用标准值<sup>[13]</sup>,掺 20%橡胶混凝土抗拉强度和抗压强度参考文献 12<sup>[12]</sup>,具体如表 1 所示。

表 1 混凝土材料参数

材料	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	泊松比
素混凝土	16.7	1.78	0.2
掺 20%橡胶混凝土	13.4	1.42	0.2

2.3 约束及荷载

框架梁放置于地面,忽略摩擦力的影响,立柱的下表面施加向上的位移约束,另外两个对称面施加对称约束。

为了避免加载时出现应力集中现象,在结构的横梁跨中加载处添加刚性垫块,垫块尺寸为 150 mm×100 mm×50 mm,计算时,在垫块上表面施加较大分布载荷,直至钢筋屈服。

2.4 计算工况

本文拟对全素混凝土结构(GS)、全橡胶混凝土结构(GXJ)和在横梁与立柱交界处不同长度范围用橡胶混凝土替代素混凝土的结构(GA/B)共三种大类型进行分析。A 是橡胶混凝土使用区域距离立柱顶部长度,B 是橡胶混凝土使用区域距离横梁端部长度。具体如图 2 所示。

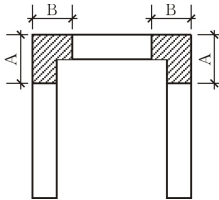


图 2 橡胶混凝土使用区域

3 数值分析

3.1 位移-荷载曲线

经过 ANSYS 分析计算后取 GS、GXJ、G150/150、G225/225、G300/300、G375/375、G450/450 七个结构绘制出跨中处位移-荷载曲线如图 3 所示。

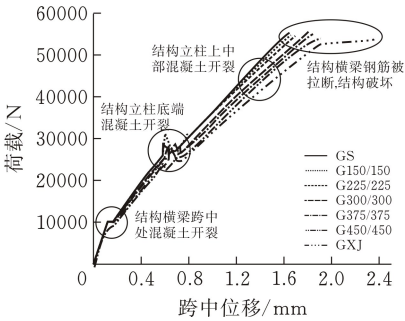


图 3 结构位移-荷载曲线

由图 3 可知,结构的位移-荷载曲线主要分为三个阶段:结构刚开始受压到跨中处混凝土开裂为

第一阶段,结构跨中混凝土开裂到结构立柱底端开裂为第二阶段,结构立柱底端开裂到结构破坏为第三阶段。

第一阶段:各结构位移-荷载曲线呈相同的变化趋势,且基本为直线。此时跨中处混凝土还未开裂,钢筋和混凝土此时处于共同工作状态。随着荷载增大,跨中底部混凝土达到极限拉应力而产生裂纹。GS、G150/150、G225/225、G300/300 和 G375/375 五个结构开裂荷载相差不大,G450/450 和 GXJ 两个结构开裂荷载较其他五个结构略小。

第二阶段:跨中处混凝土开裂后,随着荷载增大,混凝土裂纹向横梁四周扩散,荷载主要由钢筋承担,横梁刚度降低,位移-荷载曲线斜率较第一阶段小。荷载继续增加,直到立柱底端混凝土达到极限压应力开裂。

第三阶段:立柱底端混凝土开裂后,随着荷载继续增大,立柱底部裂纹向上扩展,立柱上中部混凝土达到极限拉应力开裂。第三阶段曲线斜率较第二阶段小。当钢筋应力到达最大拉应力时,横梁处钢筋拉断,结构破坏。

为了能直观展现各结构破坏时跨中位移的大小情况,取图 3 的局部放大图加以分析,放大图如图 4 所示。

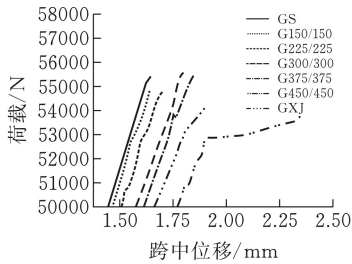


图 4 局部放大

由图 4 可知,掺橡胶混凝土结构极限位移均比 GS 大。除 GXJ 外,掺橡胶区域越多,结构的极限位移越大。G450/450 极限位移最大,为 2.35 mm。GXJ 极限位移小于 G450/450,其主要原因是橡胶的适量加入能增强混凝土结构的延性,但是过量的橡胶混凝土使结构的承载能力降低,致使结构过早到达承载能力而破坏。

3.2 裂纹扩展

以 G375/375 为例,框架结构受力后裂纹扩展过程如图 5 所示。

由图 5 可知,当荷载达到 10297.5 N 时,在素混凝土和橡胶混凝土交界处首先产生裂纹;随着荷载增加,裂纹在横梁上沿着横向和纵向发展。当荷载达到 28037.5 N 时,结构立柱底端混凝土被压坏产生裂纹。荷载达到 28056.5 N 时,横梁上的裂纹贯

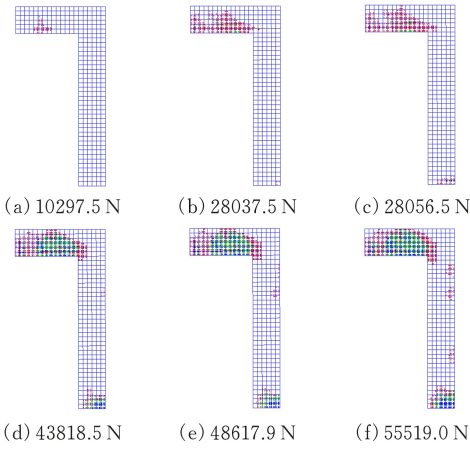


图5 G375/375结构裂缝扩展

穿了整个横梁。当荷载达到 43818.5 N 时,立柱外侧距顶部 350 mm 处开始开裂,此时横梁处裂纹几乎布满整个横梁。随着荷载加大到 48617.9 N 时,立柱距顶部 200~275 mm 外边缘产生新的裂纹,立柱底端裂纹继续向上蔓延。荷载达到 55519 N 时,横梁上的受力钢筋达到抗拉极限,结构丧失承载能力。

3.3 结构首次开裂

以 GS, GXJ, G350/350, G375/375, G400/400, G450/450 为例,分析钢筋混凝土框架梁受力后首次产生裂纹时的位置。6 个模型的首次开裂位置图如图 6 所示。

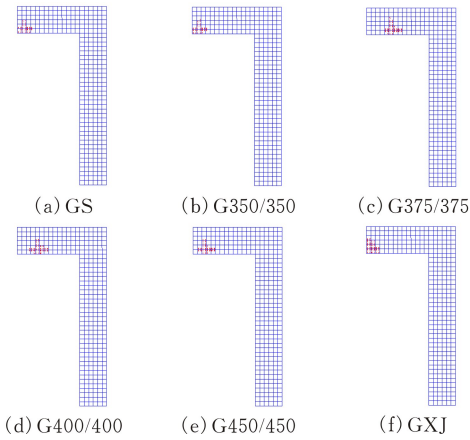


图6 结构首次开裂位置

由图 6 可以看出,GS、GXJ 和 G350/350 结构受压时,结构在跨中处最先开裂,跨中处混凝土达到抗拉强度开裂破坏;当横梁处橡胶混凝土使用长度超过 375 mm 时,结构首次开裂的裂纹出现在素混凝土和橡胶混凝土交界处,说明此时两种混凝土交界处比结构跨中更早达到最大抗拉强度而破坏。

3.4 结构开裂荷载

对模型的开裂荷载进行分析,计算结果汇总如图 7 所示。

由图 7 可以看出,橡胶混凝土使用范围在横梁

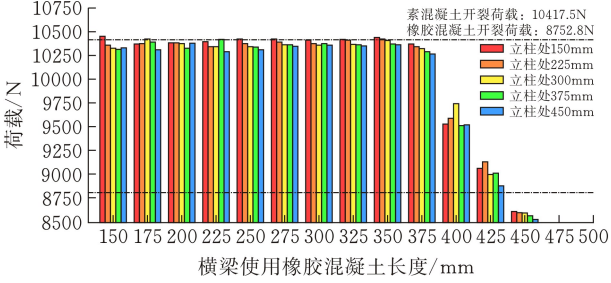


图7 结构开裂荷载

处小于 375 mm 时,结构的开裂荷载变化不大;当大于 375 mm 时,结构的开裂荷载降幅较大。GS 的开裂荷载为 10417.5N, GXJ 的开裂荷载为 8752.8 N。G150/150 开裂荷载最大,达到了 10462.5 N,比 GS 提高了 0.43%。G450/450 开裂荷载为 8535 N,仅为 GS 的 81.93%。

由图 7 也可以看出,当结构横梁上使用橡胶混凝土长度不变时,立柱上使用橡胶混凝土的长度对结构的开裂荷载影响不大,说明结构受压时主要是横梁受弯破坏,立柱受压破坏影响较小。当结构立柱上使用橡胶混凝土长度不变,且横梁上使用橡胶混凝土大于 375 mm 时,随着橡胶混凝土的使用区域增加,其开裂荷载减少。原因是橡胶混凝土的延性虽然较素混凝土强,能有效地改善结构立柱和横梁之间的变形能力,但是橡胶混凝土的抗压强度比素混凝土小,跨中受压时更快达到横梁最大抗压能力,横梁更快发生开裂破坏。

3.5 结构极限荷载分析

掺不同长度橡胶混凝土结构模型的极限荷载如图 8 所示。

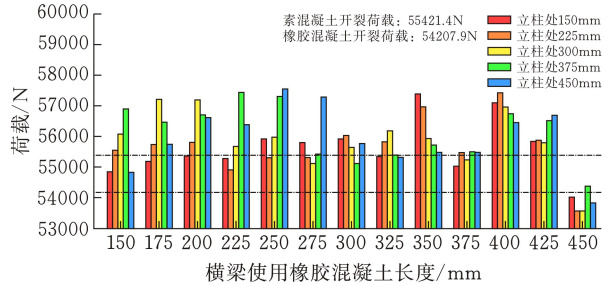


图8 结构极限荷载

由图 8 可以看出,GS 的极限荷载为 55421.4 N; GXJ 的极限荷载为 54207.9 N; G450/250 极限荷载最大,达到了 57549.3 N,比 GS 提高了 3.84%; G225/425 的极限荷载最小,比 GS 减小了 3.29%。综上分析可知,在门型框架结构中使用橡胶混凝土,结构的极限承载力较素混凝土框架梁承载力变化不大,且合理地使用橡胶混凝土,还可以少量地提高结构的承载力。

究其原因,在外力作用下,橡胶混凝土良好的变形能力能很好地协调立柱和横梁处的形变,使结构

的极限荷载少量增加。随着橡胶混凝土使用的区域增加,结构的开裂荷载降低,使得其较素混凝土结构的钢筋更早达到最大抗拉强度而拉断,导致结构破坏。

## 4 结 论

- 1)在横梁使用橡胶混凝土长度不超过 375 mm 时,结构首次开裂裂缝在跨中处,当超过 375 mm 时,首次开裂裂缝在素混凝土与橡胶混凝土交界处;
- 2)橡胶混凝土使用范围在横梁处小于 375 mm 时,结构的开裂荷载变化不大;当大于 375 mm 时,结构的开裂荷载降幅较大;
- 3)在混凝土框架结构中合理使用延性较好的橡胶混凝土,极限荷载变化不大。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 李金凤,王洛英,李文杰,等.废旧橡胶颗粒在道路工程中的应用[J].中外公路,2011,31(4):241-244.

[2] 孙晓静,冯红喜.橡胶混凝土整体道床减振性能分析[J].土木工程学报,2017,50(S1):42-46.

[3] 王军军,张仪华,秦文轩,等.废旧橡胶混凝土力学性能的研究[J].硅酸盐通报,2016,35(7):2219-2223.

[4] 郝负洪,樊磊,韩燕,等.冲击荷载作用下橡胶混凝土的

损伤研究[J].振动与冲击,2019,38(17):73-80.

[5] 陈金龙,胡春华,黄宏章,等.改性橡胶粉掺量对水泥砂浆性能的影响[J].湖北工业大学学报,2019,34(5):100-103.

[6] 许精文.橡胶改性混凝土立方体抗压强度尺寸效应试验研究[J].公路工程,2020,45(4):189-192.

[7] 张岩,李厚民,段小龙,等.钢纤维改性橡胶混凝土性能试验研究[J].湖北工业大学学报,2016,31(1):104-107.

[8] 王静,石元,陈爱玖.橡胶再生混凝土基本力学性能试验研究[J].混凝土,2014(4):74-77.

[9] 闻洋,张军,刘培培.橡胶粉掺量和细度对路用橡胶混凝土物理力学性能影响分析[J].长江科学院院报,2020,37(6):160-165.

[10] 李成芳,朱涵,杨林虎.橡胶集料混凝土改善框架抗震性能的计算分析实例[J].工业建筑,2008(S1):415-418.

[11] 李浩然,朱涵,朱学超.横梁含橡胶集料对某框架-剪力墙结构抗震性能的影响[J].沈阳大学学报(自然科学版),2013,25(2):149-155.

[12] 陶丽梅.人工拌合橡胶混凝土在框架梁中的应用[D].武汉:湖北工业大学,2017.

[13] 中华人民共和国建设部.混凝土结构设计规范:GB500010—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.

## Numerical Analysis of Rubber Concrete Used in Frame Beams

WANG Yang, LI Houmin, KE Junhong, WU Keyang

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

**Abstract:** The feasibility of rubber concrete application in portal frame beam is studied. Rubber concrete is used to replace plain concrete at the junction of beam and column in different length range. The displacement load curve, the first cracking position, cracking load and ultimate load of the structure span are compared and analyzed by numerical method. The research shows that the reasonable use of rubber concrete in the structure can improve the bearing capacity of rubber concrete.

**Keywords:** rubber concrete; ANSYS; frame structure; cracking load; ultimate load

[责任编辑: 裴 琴]