

文章编号:1671-6833(2011)01-0013-05

机制砂陶粒混凝土抗拉性能试验研究

李长永^{1,2}, 陈淮¹, 赵顺波²

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 华北水利水电学院 土木与交通学院, 河南 郑州 450011)

摘要:通过试验研究了水泥用量、水灰比、砂率对机制砂陶粒混凝土抗拉性能的影响. 试验结果表明: 机制砂陶粒混凝土的劈裂抗拉强度主要取决于陶粒自身的抗劈裂能力, 砂率对混凝土劈裂抗拉强度的影响没有规律性, 水泥用量较低时增加砂率可增大混凝土的轴心抗拉强度和抗弯强度, 水泥用量较高时砂率对混凝土的轴心抗拉强度和抗弯强度的影响不明显; 劈裂抗拉和轴心抗拉强度均随着水灰比的增大而降低, 但抗弯强度的变化不明显; 存在着使抗拉弹性模量最大的最佳砂率和水灰比. 建议给出了拌合物工作性和强度均满足要求的 LC35 级机制砂陶粒混凝土的配合比, 可供工程实际应用参考.

关键词:轻骨料混凝土; 机制砂; 陶粒; 试验研究; 抗拉性能

中图分类号: TU528.2 **文献标志码:** A

0 引言

轻骨料混凝土具有高强、轻质、保温、隔热和抗震、抗裂、耐久性能好等优点, 越来越多地被应用于桥梁、高层建筑等工程中^[1-3]. 影响轻骨料混凝土强度的因素较多, 我国现行规范规定的结构轻骨料混凝土密度等级的合理范围较大^[4-5]. 目前研究较多集中于轻骨料混凝土抗压性能及其影响因素, 对其抗拉性能的研究相对薄弱^[6-8]. 因此, 结合工程实际采用的原材料, 开展轻骨料混凝土配合比设计研究, 确定其基本力学性能, 对于轻骨料混凝土的工程推广应用具有重要现实意义.

笔者研究水泥用量、水灰比、砂率等参数变化

对机制砂陶粒混凝土抗拉强度的影响, 为工程应用提供了依据.

1 试验概况

1.1 原材料

采用 P.042.5 水泥, 粗骨料采用山东页岩陶粒, 细骨料采用焦作机制砂, 其物理力学性能及化学组成如表 1~表 3 所列. 外加剂采用郑州巨源混凝土外加剂有限公司生产的 JHY-6000 型高效减水剂, 实测减水率为 15.5%, 硫酸根离子含量 0.01%, 氯离子含量 0.05%, 总碱含量 4.79%. 拌合用水为自来水.

表 1 试验用水泥的物理力学性能及化学组成
Tab. 1 Physical mechanical properties and chemical composition of cement

水泥强度等级	标准稠度用水量/%	凝结时间/min		抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		SO ₃ /%	MgO/%	烧失量/%
		初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d			
42.5	26.74	2:42	3:54	21.5	48.3	3.9	8.7	2.9	1.62	2.63

表 2 陶粒的物理力学性能
Tab. 2 Physical mechanical properties of expanded-shale

级配	表观密度/(kg·m ⁻³)	堆积密度/(kg·m ⁻³)	压碎指标/%	1 h 吸水率/%	含泥量/%	筒压强度/MPa
5~20	1680	814.5	8.0	5.0	0.56	8.5

收稿日期:2010-09-14; 修订日期:2010-11-13
基金项目:河南省高校创新人才培养工程资助项目(豫教高[2004]294号);郑州市科技领军人才培养计划资助项目(096SYJH23105)
作者简介:李长永(1977-),女,天津人,郑州大学博士研究生,华北水利水电学院讲师,主要从事建筑材料研究.

表3 机制砂的物理性能

Tab. 3 Physical properties of manufactured sand

级配	细度模数	表观密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	堆积密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	石粉含量/ %
0.16~5	3.3	2 725	1 676	0.8

1.2 混凝土配合比

本试验共设计 14 组配合比,按混凝土强度等级 LC35、轻骨料密度等级 800 进行结构轻骨料混凝土配合比各参数范围的选择^[5],参数组合如表 4 所列,考虑水泥用量、水灰比和砂率的变化,高效减水剂用量为水泥用量的 0.75%。

表4 机制砂陶粒混凝土试验配合比

Tab. 4 Mix proportions of tested concrete

水泥量 m_c / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	W/C	砂率 S_p / %	陶粒用量 m_a / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
400	0.35	34/38/42/46	887/833/780/726
460	0.35	34/38/42/46	887/833/780/726
520	0.35	34/38/42/46	887/833/780/726
460	0.30/0.40	42	780

1.3 试验方法

本试验测试混凝土的劈裂抗拉、轴心抗拉以及抗弯等力学性能,试验方法按 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》和 DL/T 5150—2001《水工混凝土试验规程》的规定执行。劈裂抗拉强度试验采用边长为 150 mm 的立方体试块,轴心抗拉强度和抗拉弹性模量试验采用 100 mm × 100 mm × 550 mm 的棱柱体试块,抗弯强度试验采用 100 mm × 100 mm × 400 mm 的小梁试件,试验在华北水利水电学院土木与交通学院材料实验室完成。

用强制搅拌机搅拌混凝土,投料顺序及搅拌时间为:粗集料、细集料、1/2 水(搅拌 0.5 min)、水泥、减水剂及剩余水(搅拌 2 min),待全部料投入后重拌 2 min。总搅拌时间不超过 6 min。

所有试件均在取样后立即制作,将拌合物一次装入试模,并略高出其上口,用振动台成型,至混凝土表面出浆后刮去多余的拌合物并用抹刀抹平。成型 24 h 后脱模,放入标准养护室中养护 28 d。

2 试验结果分析

2.1 劈裂抗拉强度

水灰质量比为 0.35 时,不同水泥用量下机制砂陶粒混凝土劈裂抗拉强度随砂率的变化如图 1 所示。水泥用量 460 kg/m^3 时,机制砂陶粒混凝土

劈裂抗拉强度随水灰比的变化如图 2 所示。从图中可以看出,砂率对混凝土劈裂抗拉强度的影响没有规律性;随着水灰比的增大混凝土劈裂抗拉强度略有降低,但仅从水灰比 0.30 时的 3.82 MPa 减小到水灰比 0.40 时的 3.34 MPa,降低率只有 12.6%。观察试块破坏形态,发现机制砂陶粒混凝土劈裂面平齐,陶粒发生直接劈裂破坏,未出现水泥石与陶粒界面发生劈裂破坏的情况,这说明在水泥用量和砂率基本合理的情况下,混凝土的劈裂抗拉强度主要取决于陶粒自身的抗劈裂能力。尽管提高水泥用量可增加水泥浆对机制砂和陶粒的包裹程度,提高水泥砂浆体自身的抗劈裂性能;减少水灰比可以降低混凝土拌合物成型过程中的陶粒上浮分层,提高混凝土的整体均匀性和密实度;但这些因素变化均不能从根本上改变陶粒自身强度低于水泥砂浆体强度的实质。同时,当水泥用量为 520 kg/m^3 时,随着砂率的增大,在立方体试块成型过程中出现了部分陶粒上浮分层的现象,影响了受劈裂截面的材料均匀性,从而导致截面受力不均而降低抵抗劈裂的能力。

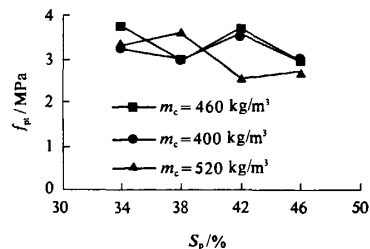
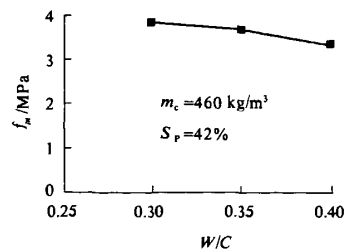


图1 W/C=0.35 时劈拉强度随砂率的变化

Fig. 1 Variation of splitting tensile strength with sand ratio under the condition of W/C = 0.35

图2 $m_c = 460 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时劈拉强度随 W/C 的变化Fig. 2 Variation of splitting tensile strength with water to cement ratio under the condition of $m_c = 460 \text{ kg}/\text{m}^3$

2.2 轴心抗拉强度

水灰比为 0.35 时,不同水泥用量下机制砂陶粒混凝土轴心抗拉强度随砂率的变化如图 3 所

示。从图中可以看出,水泥用量 400 kg/m^3 时,砂率增大起到了使砂浆有效填充陶粒之间空隙的作用,对混凝土轴心抗拉强度有一定的增强作用;水泥用量为 460 kg/m^3 和 520 kg/m^3 时,砂率变化对混凝土轴心抗拉强度的影响效果减弱,水泥用量的影响较为明显;各种砂率下,水泥用量 460 kg/m^3 时的混凝土轴心抗拉强度均高于水泥用量 520 kg/m^3 时的相应值,观察试件破坏断面发现水泥用量 520 kg/m^3 时出现沿陶粒与水泥石界面破坏的情况,原因是水泥用量较大时多余的水泥浆促使试件成型过程中陶粒的上浮分层现象加重,造成了轴拉截面的材料分布不均匀,由此产生了较大应力重分布,导致抗拉强度降低。

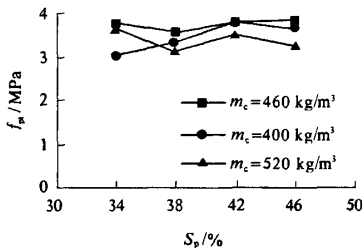


图3 $W/C = 0.35$ 时轴拉强度随砂率的变化

Fig. 3 Variation of axial tensile strength with sand ratio under the condition of $W/C = 0.35$

水泥用量为 460 kg/m^3 时,机制砂陶粒混凝土轴心抗拉强度随水灰比的变化如图4所示。从图中可以看出,随着水灰比的增大混凝土轴心抗拉强度降低,从水灰比 0.30 时的 4.25 MPa 减小到水灰比 0.40 时的 3.57 MPa,降低率为 16.0%。这一变化同样源自水灰比增大后相应增加了混凝土拌合物成型过程中的陶粒上浮分层,致使混凝土轴心受拉过程中因截面材料分布均匀性变差、产生较大应力重分布而降低强度。

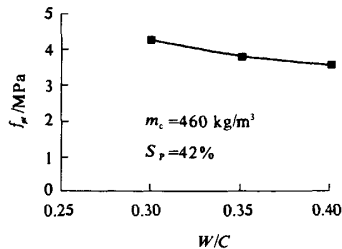


图4 $m_c = 460 \text{ kg/m}^3$ 时轴拉强度随 W/C 的变化

Fig. 4 Variation of axial tensile strength with water to cement ratio under the condition of $m_c = 460 \text{ kg/m}^3$

比较图1和图3,机制砂陶粒混凝土劈裂抗拉强度的离散性大于轴心抗拉强度的离散性,且

劈裂抗拉强度普遍低于其轴心抗拉强度,说明了劈裂试验对陶粒在破坏面上分布的均匀性更加敏感,劈裂破坏面平齐,轴心受拉破坏面则出现了沿陶粒界面的破坏情况,破坏面具有凹凸特征。

综合考虑劈裂抗拉强度和轴心抗拉强度试验结果,以满足强度等级 LC35 的机制砂陶粒混凝土抗拉强度及其施工工作性要求为前提,可取水泥用量 460 kg/m^3 、水灰比 0.35 ~ 0.40 和砂率 42% 为最佳,实测劈裂抗拉强度为 3.67 ~ 3.34 MPa、轴心抗拉强度为 3.81 ~ 3.57 MPa。

2.3 抗拉弹性模量

水灰比为 0.35 时,不同水泥用量下机制砂陶粒混凝土抗拉弹性模量随砂率的变化如图5所示。尽管数据离散性较大,但从图中仍可看出,砂率 34% 和 38% 时,水泥用量增大提高了混凝土抗拉弹性模量,表明水泥用量增大后增强了水泥砂浆对陶粒间空隙的填充及粘结整体性,减小了混凝土的抗拉变形。水泥用量 400 kg/m^3 和 460 kg/m^3 时,混凝土抗拉弹性模量随砂率变化的规律基本一致,对应于抗拉弹性模量最大值的最佳砂率为 42%,这表明砂率适当增大也可有效提高水泥砂浆对陶粒间空隙的填充及粘结整体性,从而增加混凝土抵抗受拉变形的能力。水泥用量为 520 kg/m^3 时,砂率增大后多余的水泥浆促使试件成型过程中陶粒的上浮分层现象加重,造成了截面材料分布不均匀,抗拉弹性模量会随之降低。

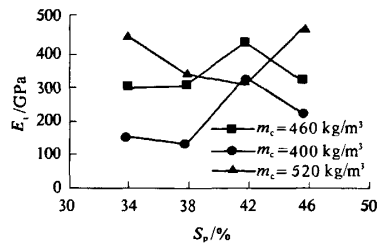


图5 $W/C = 0.35$ 时弹性模量随砂率的变化

Fig. 5 Variation of elastic modulus with sand ratio under the condition of $W/C = 0.35$

水泥用量为 460 kg/m^3 时,机制砂陶粒混凝土抗拉弹性模量随水灰比的变化如图6所示。从图中可以看出,使抗拉弹性模量最大的最佳水灰比为 0.35。这一变化同样源自最佳水灰比对应的混凝土中陶粒受到水泥砂浆良好的包裹与粘结并形成较强的整体,从而减小了混凝土受拉时的变形。

按照上述选取的 LC35 结构轻骨料混凝土配合比,相应的抗拉弹性模量为 372 ~ 433 GPa。

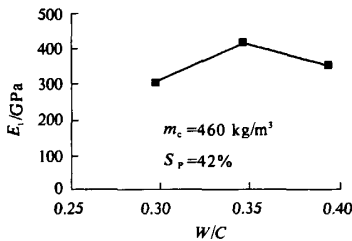


图6 $m_c = 460 \text{ kg/m}^3$ 时弹性模量随 W/C 的变化

Fig.6 Variation of elastic modulus with water to cement ratio under the condition of $m_c = 460 \text{ kg/m}^3$

2.4 抗弯强度

水灰质量比为 0.35 时,不同水泥用量下机制砂陶粒混凝土抗弯强度随砂率的变化如图 7 所示;水泥用量为 460 kg/m^3 时,机制砂陶粒混凝土抗弯强度随水灰质量比的变化如图 8 所示。

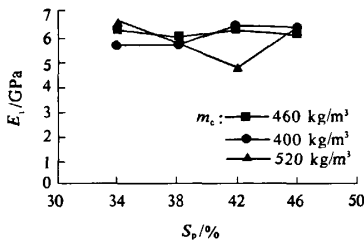


图7 $W/C = 0.35$ 时抗弯强度随砂率的变化

Fig.7 Variation of flexural tensile strength with sand ratio under the condition of $W/C = 0.35$

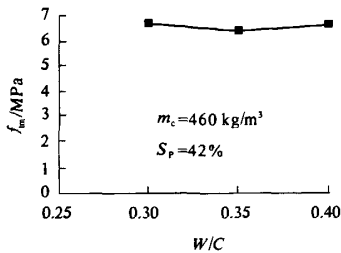


图8 $m_c = 460 \text{ kg/m}^3$ 时抗弯强度随 W/C 的变化

Fig.8 Variation of flexural tensile strength with water to cement ratio under the condition of $m_c = 460 \text{ kg/m}^3$

从图中可以看出,水泥用量为 400 kg/m^3 时,增大砂率对混凝土抗弯强度有一定的提高效果;水泥用量为 460 kg/m^3 时,砂率和水灰比变化对混凝土抗弯强度影响较小;水泥用量为 520 kg/m^3 时,砂率变化引起了混凝土抗弯强度波动性变化。上述结果表明,在水泥用量较低时,适当增加砂率所带来的混凝土密实度增加可减小试件受弯时受压区变形,延缓受拉区混凝土的断裂;当水泥

用量较大时,陶粒的不均匀分布直接影响到截面的抗弯能力,特别是砂率为 42% 时,混凝土抗弯强度突降是由受拉区陶粒直接断裂引起的。因此,在砂率为 34% ~ 46%、水灰比 0.3 ~ 0.4 范围,对于机制砂陶粒混凝土抗弯强度而言,水泥用量为 460 kg/m^3 比较合适,试件受弯破坏面没有出现特殊情况。

按照上述选取的 LC35 结构轻骨料混凝土配合比,相应的抗弯强度为 6.39 ~ 6.57 MPa。

3 结论

(1) 机制砂陶粒混凝土劈裂破坏面平齐,混凝土劈裂抗拉强度主要取决于陶粒自身的抗劈裂能力。砂率对混凝土劈裂抗拉强度的影响没有规律性;混凝土劈裂抗拉强度随着水灰比的增大略有降低。

(2) 机制砂陶粒混凝土轴心抗拉强度和抗弯强度受砂率和水灰比的关联影响。水泥用量较低时增加砂率可增大混凝土的轴心抗拉强度和抗弯强度,水泥用量较高时砂率对混凝土的轴心抗拉强度和抗弯强度的影响不明显,甚至会降低混凝土抗弯强度。混凝土轴心抗拉强度随着水灰比的增大而降低,水灰比变化对混凝土抗弯强度影响较小。

(3) 砂率较低时增大水泥用量可提高混凝土抗拉弹性模量,水泥用量较高时增大砂率会降低混凝土抗拉弹性模量。当水泥用量为 460 kg/m^3 时,使抗拉弹性模量最大的最佳砂率和水灰比分别为 42% 和 0.35。

(4) 根据试验结果,笔者所建议的满足强度等级 LC35 的机制砂陶粒混凝土的配合比,可为工程应用提供参考。

参考文献:

- [1] 徐锦平,陈建华,周绍豪. 轻骨料混凝土的应用研究及展望[J]. 国外建材科技, 2007, 28(5): 11 - 13.
- [2] 曹诚,杨玉强. 高强轻集料混凝土在桥梁工程中的应用的效益和性能特点分析[J]. 混凝土, 2000(12): 27 - 29.
- [3] 任志刚,王发洲. 高强轻骨料混凝土大跨径桥梁结构设计参数分析[J]. 国外建材科技, 2005, 26(3): 105 - 108.
- [4] 詹镇峰,张传铨,刘启华. 高强轻集料混凝土组成与性能的试验研究[J]. 混凝土, 2005(2): 32 - 35, 42.

- [5] JGJ 51—2002 轻骨料混凝土技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [6] 程智清,刘宝举,杨元霞,等. 高强轻集料混凝土力学性能试验研究[J]. 粉煤灰,2006,18(4):7-9.
- [7] 王树和,甄飞,熊小群,等. 高强轻集料混凝土力学性能影响因素研究[J]. 武汉理工大学学报,2007,29(9):104-107.
- [8] 程智清. 高性能页岩轻集料混凝土试验研究[D]. 长沙:中南大学材料学院,2007.

Experimental Study on Tensile Strength of Manufactured-sand Expanded-shale Concrete

LI Chang-yong^{1,2}, CHEN Huai¹, ZHAO Shun-bo²

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of Civil Engineering & Communication, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: The experiments were conducted to study the effects of cement content, water to cement ratio and sand ratio on the tensile performances of lightweight concrete composited with manufactured sand and expanded shale. It is proved that the splitting tensile strength is mainly controlled by the capacity against splitting of expanded-shale itself, no regularity exists between splitting tensile strength and sand ratio. Increasing sand ratio can raise the axial tensile strength and the flexural tensile strength while cement content is lower, but there is no obvious influence when the cement content is larger. The splitting tensile strength and axial tensile strength decrease with the increase of water to cement ratio, but the flexural tensile strength does not change obviously. There are the optimum values of sand ratio and water to cement ratio result in the largest tensile elastic modulus of concrete. The mix proportion is suggested which satisfies the technical requirements of fresh concrete workability and LC35 lightweight concrete strength.

Key words: lightweight concrete; manufactured sand; expanded shale; test research; tensile performance

(上接第12页)

- [7] 朱俊锋,王东炜,霍达. 基于位移的RC高层框架结构在大震作用下失效模式相关性分析[J]. 郑州大学学报:工学版,2006,27(3):9-14.
- [8] 朱俊锋,霍达,王东炜. 基于位移的RC整体剪力墙在小震作用下失效相关性分析[J]. 北京工业大学学报,2007,33(1):26-30.
- [9] 王光远,程耿东,邵卓民,等. 抗震结构的最优设防烈度与可靠度[M]. 北京:科学出版社,1999:124-273.
- [10] ANG A H, TANG W H. Probability concepts in engineering planning and design. Volume II: decision, risk and reliability [M]. New York: John Wiley & Sons, 1984: 504-509.

Displacement-based Failure Dependence Study on RC High-Rise Frame-Shear-Wall Structures under Strong Earthquakes

ZHU Jun-feng¹, WANG Dong-wei²

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 2. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to simplify the calculation of structural system reliability, it is necessary to study the problem of failure dependence. In this paper, the failure dependences of RC high-rise frame-shear-wall structures are studied by using Monte-Carlo method under strong earthquakes based on storey drift. The results indicate that the failure of absolute stories of RC high-rise frame-shear-wall structures is statistically dependent under strong earthquakes based on storey drift.

Key words: reliability of system; frame-shear wall structure; failure dependence