

陶粒最大粒径和颗粒级配对低强泵送陶粒混凝土的影响

王春芳,王涛,屈磊,唐德波

(江苏城科建设发展有限公司,江苏 镇江 212004)

摘要:通过控制陶粒混凝土中作为粗骨料的陶粒的最大粒径和粗骨料颗粒级配,对陶粒混凝土的工作性能和力学性能进行研究,分析了陶粒最大粒径和颗粒级配对低强泵送陶粒混凝土的影响,作为指导低强泵送陶粒混凝土的实体应用的理论指导。

关键词:陶粒;最大粒径;颗粒级配;低强;泵送

Abstract: The maximum particle size and aggregate grading of ceramsite are controlled to study the working performance and mechanical performance of ceramsite concrete. And the influences of maximum particle size and grading on low-strength and pumpable ceramsite concrete are analyzed. The results can be used to guide the real application of low-strength and pumpable ceramsite concrete.

Key words: ceramsite; maximum size; size composition; low-strength; pumpability

0 引言

陶粒混凝土是由胶凝材料和轻骨料配制而成,具有密度小、保温隔热、耐火性好、抗震性好、吸水率低、抗冻性好、抗渗性好、抗碱集料反应能力强及适应性能高等优点。用作轻骨料的陶粒是以粘土、泥岩、煤矸石、粉煤灰等为主要原料,经加工厂粉碎成粒或粉磨成球,再烧胀而成的人造骨料,密度小于水,为 $510\sim 600\text{ kg/m}^3$,它是一种具有坚硬外壳,表面有一层隔水保气的釉层,内部具有封闭微孔结构的多孔陶质粒状物,具有体轻、强度高、隔音、保温、耐火、耐化学侵蚀、抗冻优良性能。陶粒表观密度小、总表面积大、易于吸水等特点决定了陶粒混凝土拌合物的流动范围比较窄,因为流动度过大则轻骨料上浮、离析,流动度过小则振捣困难。流动度主要决定因素为用水量,与普通混凝土不同,陶粒混凝土的用水量分为附加用水量和净用水量两部分,其中附加用水量为陶粒1 h吸水量。

影响陶粒混凝土强度的因素有很多,如陶粒强度、水灰比及砂率等,陶粒本身的强度不高,陶粒用量大则陶粒混凝土强度损失大,其表观密度越小;适当增加水泥用量会提高混凝土强度;适宜

的砂率也能保证陶粒混凝土的和易性、可泵性、流动性和干容重等。本文就轻骨料的最大粒径和颗粒级配对低强的泵送陶粒混凝土进行了研究和分析。

1 原材料的选用

原材料选用的原则为就近择优。

水泥:镇江鹤林水泥厂生产,符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175-2007)P·O 42.5级水泥标准;粉煤灰:镇江谏壁电厂生产,符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596-2005)Ⅰ级灰标准;外加剂:江苏博特新材料有限公司生产的JM-10(缓凝、泵送)混凝土高效减水剂,减水率18.1%;普通砂为鄱阳湖中砂,堆积密度在 $1\ 260\text{ kg/m}^3$,细度模数为2.4,含水率为3.2%,含泥量为0.3%,级配区属于Ⅱ区;陶砂:江苏建华陶粒有限公司生产,堆积密度在 400 kg/m^3 ,细度模数为3.4,1 h吸水率为12%,含泥量为0.3%,级配区属于Ⅰ区,筒压强度为2.1 MPa;陶粒:江苏建华陶粒有限公司生产的轻质骨料,碎石型陶粒的堆积密度为 460 kg/m^3 ,筒压强度为3.0 MPa,1 h吸水率为9%;圆型陶粒的堆积密度根据级配的不同,范围在 $360\sim 420\text{ kg/m}^3$ 之间,筒压强度为2.5 MPa,1 h吸水率为10%。

2 试验配合比设计

陶粒混凝土的配合比设计主要应满足抗压强度、密度和坍落度的要求,以节约胶凝材料为原则,必要时还需要符合混凝土性能(如弹性模量、导热系数和线性收缩率)的特殊要求,考虑《轻集料混凝土技术规程》(JGJ 51-2002)标准中水泥强度等级和用量、砂率、水灰比为重要的设计参数。

轻骨料混凝土配合比设计有绝对体积法和松散体积法,轻骨料混凝土分为砂轻混凝土、次轻混凝土和全轻混凝土3种。本项目主要采用砂轻陶粒混凝土松散体积计算,是指普通砂或部分陶砂作细骨料配制而成的轻骨料混凝土。

根据《轻集料混凝土技术规程》(JGJ 51-2002)标准,陶粒混凝土的试配按 $f_{cu,e} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$ 确定,本实验设计的是LC20轻骨料混凝土, σ 取5.0;根据陶粒混凝土强度等级和陶粒的密度等级,适合水泥用量,标准中提及关于水泥的标准,为P·O 32.5级水泥,本研究采用P·O 42.5级水泥是基于对低强陶

粒混凝土总容重的考虑;试验对象为低强泵送陶粒混凝土,因此扩展度控制在400~550 mm,坍落度在150~200 mm,净用水量控制在220~230 kg/m³;选取松散体积砂率后,确定粗细骨料的总体积。

陶粒混凝土拌合物易分层、离析,本实验基于大量的试配及检验,综合分析LC20陶粒混凝土拌合物的分层度、坍落度、扩展度、流动性后确定陶砂的替代率为9%,砂率为43%,碎石型陶粒的掺量为10%,粉煤灰替代率为15%,总水灰比为0.52,具体配合比如表1所示。

试验所用圆型陶粒满足《轻集料及其试验方法第1部分:轻集料》(GB/T 17431.1-2010)和《轻集料及其试验方法第2部分:轻集料试验方法》(GB/T 17431.1-2010)对粗细混合轻集料的要求,2.36 mm筛上累计筛余为58%~62%,筛除2.36 mm以下颗粒后,2.36 mm筛上的颗粒级配满足公称粒径5~10 mm的颗粒级配的要求,其最大粒径和其作为粗骨料制作的混凝土编号如表2所示。

表1 LC20的配合比

水泥/kg	粉煤灰/kg	水/kg	外加剂/kg	砂/kg	陶砂/kg	圆型陶粒/kg	碎石型陶粒/kg	粗细骨料总体积/m ³
270	48	165	4.2	616	61	257	29	1 370

表2 用于制作LC20混凝土使用的陶粒的最大粒径

陶粒最大粒径/mm	5	10	16	20	25
陶粒混凝土试块制作编号	A	B	C	D	E

3 LC20陶粒混凝土性能分析

按照《普通混凝土拌合物性能试验方法》(GB/T 50080-2002)、《普通混凝土力学性能试验方法》(GB/T 50081-2002)和《轻骨料混凝土技术规程》(JGJ 51-2002)的要求进行陶粒混凝土拌合物性能检验和试块力学性能检验。

3.1 陶粒最大粒径对陶粒混凝土工作性能的影响

由于陶粒密度小,很容易上浮,使得上层拌合物中陶粒较多,而下层拌合物中陶粒含量相对较少。本实验参考丁建彤、丁庆军等提出的分层度的概念,即用振捣后上下层拌合物中陶粒质量的差异来表示陶粒在振捣过程中的运动情况,分层度越低,表示拌合物的匀质性越好,说明拌合物的抗分层、抗离析性能越好。试验时采用的分层度试验设备为高度100 mm×3的钢模,将混凝土拌合物装入

后振捣,分别取出上、下层拌合物,先装入3 L的圆柱体钢筒内测出质量,从而求出拌合物的湿表观密度,然后再装入筛孔尺寸为4.75 mm的钢筛,用水冲刷干净,挑出拌合物中的陶粒,烘干后分别测量上、下层拌合物中陶粒的质量。

拌合物密度分层度= $2 \times (\rho_u - \rho_l) / (\rho_u + \rho_l) \times 100\%$
式中: ρ_u 、 ρ_l 分别为上、下层拌合物湿表观密度,kg/m³。

粗集料质量分层度= $2 \times (g_u - g_l) / (g_u + g_l) \times 100\%$
式中: g_u 、 g_l 分别为上、下层拌合物内粒径大于5 mm烘干后的陶粒质量,kg。

从图1、图2中可以看出,随着陶粒最大粒径的增大,陶粒混凝土坍落度减小、扩展度减小、分层度则呈增大的趋势,而且陶粒混凝土拌合物的和易性也随之变化,陶粒最大粒径不小于10 mm且不大于20 mm时比较好。分析原因为:陶粒最大粒径小于

10 mm时,陶粒小,胶凝材料对其的包裹力相对较大,使得拌合物的分层度相对较小,且此时小粒径的陶粒所占比重大,使拌合物相对比较均匀,但陶粒粒径小则骨料总体比表面积变大,消耗的胶凝材料变多;陶粒最大粒径大于10 mm时,随着其最大粒径的增大,分层度逐渐变大,主要是小密度的陶粒外层光滑的釉层所致,在陶粒太大会出现包裹性差的情况;在陶粒最大粒径为10 mm时拌合物分层度出现最低值,因为此时小粒径的陶粒比重相对较大,与中等粒径的陶粒混合,颗粒级配方面满足分层度降低的条件,但是此时的分层度与陶粒最大粒径为16 mm和20 mm时分层度相差不足1%,在整体考虑时可相对忽视此差异。

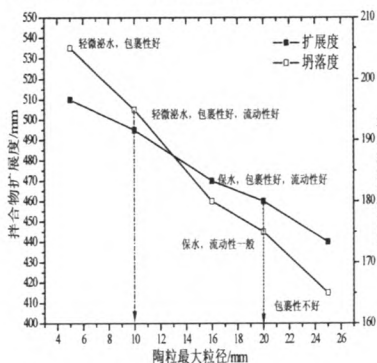


图1 陶粒最大粒径对陶粒混凝土坍落度和扩展度的影响

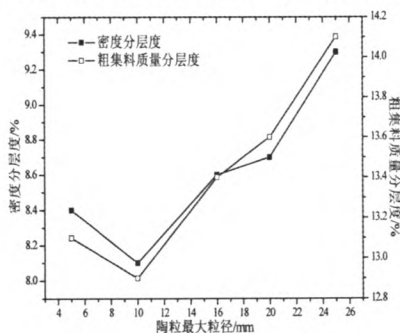


图2 陶粒最大粒径对陶粒混凝土分层度的影响

3.2 陶粒最大粒径对陶粒混凝土力学性能的影响

从图3、图4可以看出,随着陶粒最大粒径的增大,陶粒混凝土28 d强度呈先增大后降低的趋势,在最大粒径16 mm时的强度最高。造成这种结果的原因为:陶粒粒径越大,其内部缺陷的几率就高,陶粒粒径越小,则骨料整体比表面积就大,空隙率就大,用于包裹和润湿其的胶凝材料就要多,要达到良好的流动度就要消耗更多的胶凝材料,这就在用水量上有高要求。但是因为陶粒比水轻上浮,陶粒与水泥砂浆很容易分离造成堵管,所以要应尽量减少混凝土的用水量,尽量选用合理的混凝土坍落度。另外,对颗粒级配优劣的评价主要有3种通用的理论:①最大密度理论,即孔隙率最小、密度最大;②表面积理论,其认为骨料表面积越小,用来包裹其表面的水泥浆用量越少;③粒子干涉理论,即上一级骨料的间距恰好等于下一级骨料的粒径,下一级骨料填充期间却不会干涉上一级。通过对实验结果的分析,我们可以认为在最大粒径16 mm时的颗粒级配相对较优,此时的陶粒混凝土孔隙率最低,作为骨料的陶粒对包裹其的胶凝材料需求量在合适的范围内,不同粒径的陶粒相互填充而干涉最少。

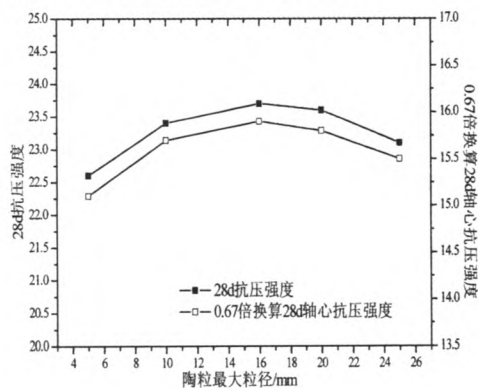


图3 陶粒最大粒径对陶粒混凝土28 d强度的影响

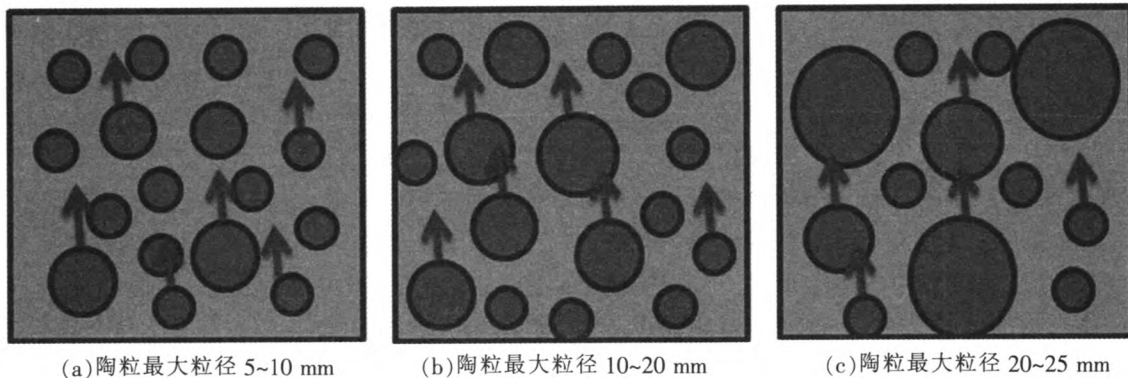


图4 陶粒最大粒径不同时陶粒砼的状态示意图

4 结论

综上所述,陶粒最大粒径和颗粒级配对低强泵送陶粒混凝土的影响是比较大的。就本实验所研究的LC20泵送陶粒混凝土而言,选用的圆型陶粒的最大粒径为16 mm时,可以很好地解决强度与密度、强度与扩展度之间的关系,其拌合物和易性最好,施工性能最好,强度满足 $f_{cu,e} \geq f_{cu,k} + 1.645\delta$ 。

参考文献

- [1]胡曙光,王发洲.轻集料混凝土[M].北京:化学工业出版社,2006.
[2]丁建彤,郭玉顺,木村熏.结构轻集料混凝土的现状与发展趋势[J].混凝土,2000,134(9):23-26.

- [3]丁建彤,李渝军.泵送高强轻骨料混凝土的抗离析性能试验研究[J].混凝土,2005,(3):42-45.
[4]丁庆军,张勇,王发洲,等.高强轻集料混凝土分层离析控制技术的研究[J].武汉大学学报,2002,35(3):59-62.
[5]Stock, A. F., Hannant, et al. The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of e-lasticity of concrete [J]. Magazine of Concrete Research,1979(31):109,225-234.

第一作者:王春芳(1986-),女,硕士,材料科学与工程专业。

(编辑:徐仁丽)(收稿日期:2015-5-25)

(上接第24页)

subjected to different loading conditions[J]. Corrosion Science, 2008,50(12). 3343-3355.
[12]Safi Brahim, Saidi Mohammed, Daoui Abdelhakim, et al. The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM)[J]. Construction and Building Materials, 2015, 78(1):430-438.
[13]沈伟,吴建芳,陈义华,等.高性能海工混凝土在海上风电示范项目中的应用研究[J].商品混凝土, 2015,(2):59-61.
[14]Lopez-Calvo, H.Z. Effectiveness of CNI in slabs with a construction joint in a marine environment[J]. Magazine of Concrete Research,2012,64(4):307-316.
[15]Wasim Muhammad, Hussain Raja Rizwan. Passive film formation and corrosion initiation in lightweight concrete structures as compared to self compacting and ordinary concrete structures at ele-

vated temperature in chloride rich marine environment[J].Construction and Building Materials,2015, 78:144-152.
[16]Mackechnie, J. R. and M. G. Alexander, Durability findings from case studies of marine concrete structures[J].Cement Concrete and Aggregates,1997,19 (1): 22-25.
[17]Mackechnie, J.R. and M.G. Alexander, Exposure of concrete in different marine environments [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 1997,9(1): 41-44.

第一作者:管娟(1980-),女,硕士研究生,工程师,材料学专业。

(编辑:杨蔚清)(收稿日期:2015-5-21)