

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2022.04.013

海蛎壳替代率对混凝土抗压强度的影响

张 锦¹, 严捍东²

(1.漳州职业技术学院建筑工程学院,福建漳州 363000;2.华侨大学土木工程学院,福建厦门 361021)

摘要:以 C25 天然砂混凝土为研究对象,通过研究同一强度等级不同替代率下的海蛎壳掺量对混凝土抗压强度的影响,得出混凝土 28 d 抗压强度值最大的海蛎壳替代率。与天然砂混凝土进行了比较并进行了机理分析,同时对混凝土抗压强度试验的破坏形态进行了机理分析。结果表明:海蛎壳混凝土的抗压强度值随海蛎壳替代率的增加而降低。总体上,海蛎壳替代后的混凝土强度符合强度等级标准要求,但海蛎壳混凝土的抗压强度值均低于天然砂混凝土。海蛎壳混凝土的破坏形态与海蛎壳掺量有关系,海蛎壳掺量越少,则混凝土破坏程度越剧烈。

关键词:海蛎壳替代率;海蛎壳掺量;混凝土;抗压强度;破坏形态

中图分类号:TU528.52 文献标志码: 文章编号:1673-1891(2022)04-0079-06

The Effect of Oyster Shell Replacement Rate on the Compressive Strength of Concrete

ZHANG Jin¹, YAN Handong²

(1. School of Architectural Engineering, Zhangzhou Institute of Technology, Zhangzhou, Fujian 363000, China
2. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen, Fujian 361021, China)

Abstract: We take C25 natural sand concrete as the research object and study the effect of oyster shell content on the compressive strength of concrete at the same strength grade and with different replacement rates. The oyster shell replacement rate with the maximum compressive strength of concrete at 28 d is obtained and compared with natural sand concrete, and its mechanism is analyzed. Meanwhile, the failure mode of concrete compressive strength test is further analyzed. The results show that: the compressive strength of oyster shell concrete decreases with the increase of oyster shell replacement rate. In general, the strength of concrete replaced by oyster shell meets the requirements for strength grade standards, but the compressive strength of oyster shell concrete is lower than that of natural sand concrete. The failure mode of oyster shell concrete is related to the oyster shell content, and the less oyster shell content, the higher the damage degree of concrete.

Keywords: oyster shell replacement rate; oyster shell content; concrete; compressive strength; failure mode

0 前言

在建筑上,混凝土作为一种常用的建筑材料,其需求量巨大。天然砂石是组成混凝土的重要粗细骨料,由于长期被开采利用,导致砂石自然资源日益减少,生态环境受到破坏。

为了保护生态资源,实现可持续发展,迫切需要寻找新材料以替代砂石骨料。混凝土强度是评判混凝土性能的重要指标,粗骨料是影响混凝土强度的主要因素,常用的粗骨料中以石灰岩和花岗岩

居多,采用其他岩石较少。我国沿海地区盛产海蛎,海蛎壳作为一种固体废弃物材料,若能当作骨料用在混凝土中,则既解决环境污染问题,又产生一定的经济效益。正因如此,海蛎壳在混凝土中的研究应用越来越受到学者们的重视。目前,国内外学者针对贝壳垃圾在混凝土生产中的再利用开展了一些相关研究^[1]。

贝壳在实际中的用途较为广泛,王莲莲等^[2]综述了国内外对贝壳的利用概况,展望了贝壳礁的发展前景。海蛎壳作为一种贝壳类废弃物,代银平

收稿日期:2022-05-23

基金项目:福建省中青年教育科研项目(JAT201278)。

作者简介:张锦(1986—),男,福建莆田人,讲师,硕士,研究方向:土木工程新材料。

等^[3]经研究认为贝壳废弃物可用作建筑材料。从混凝土应用进展来看,目前国内外学者针对贝壳类在混凝土中的应用及混凝土抗压强度性能影响因素进行了相关研究,取得了一些有价值的研究成果。例如,Yoon等^[4]研究了普通砂浆与不同比例牡蛎壳的混合物,认为当牡蛎壳粉质量分数升高到40%时,抗压强度没有明显变化。Yang等^[5]研究了掺入牡蛎壳粉对混凝土力学性能的影响,发现28 d抗压强度保持不变。王冬丽等^[6]选取秦皇岛海域生长的贝壳,对其制备的透水植生混凝土进行了研究,结果表明:工厂牡蛎垃圾相对厨余扇贝垃圾具有更好的强度;掺入硅灰显著提高抗压强度。Nguyen等^[7]研究认为利用贝壳作为部分或全部粗骨料,可生产低强度结构功能的透水混凝土。程娟等^[8]、Wu等^[9]认为贝壳骨料中含有的一些物质降低了贝壳骨料混凝土的强度。李霞等^[10]研究表明,掺入一定量的牡蛎壳、粉煤灰和矿粉的混凝土能提高混凝土的抗压强度;牡蛎壳掺量为5%时的抗压强度最大,而再掺入20%的牡蛎壳后,混凝土的抗压强度明显降低。赵晖等^[11]认为粉碎的贝壳作为骨料替代石子,对混凝土的强度有不良影响。周英明等^[12]认为:牡蛎壳混凝土抗压强度发展规律与普通混凝土一致,早期强度发展较快,后期强度发展较慢;各种混凝土早期强度相差较小,后期强度随牡蛎壳含量的增加,强度下降增大。唐衍力等^[13]认为:牡蛎壳粉可用作混凝土人工鱼礁材料,在抗压强度、抗渗性能不发生显著变化($P > 0.05$)的前提下,牡蛎壳粉最多可替代40%的河砂。高潮等^[14]认为,以贝壳为骨料混凝土的28 d抗压强度并没有降低太多。以贝壳为骨料混凝土的28 d抗压强度随着贝壳替代率

的升高有所下降。以上的研究结果表明,在混凝土中掺入贝壳类材料,总体上混凝土28 d抗压强度有所降低,但降低幅度不大。本试验重点研究探讨海蛎壳替代率对混凝土抗压强度的影响。

本文采用漳州地区白云石碎石和河砂作为原材料,试验以低强度等级C25为研究对象,在保持C25天然砂混凝土配合比不变的前提下,用海蛎壳替代白云石碎石(其中海蛎壳替代率为5%、10%、15%、20%),研究不同替代率下的海蛎壳掺量对同一种强度等级混凝土抗压强度的影响程度和规律,并与天然砂混凝土进行比较,分析其机理,同时对混凝土抗压强度试验的破坏形态进行机理分析。

1 试验设计

1.1 试验原材料的选用

水泥:润丰水泥P.O42.5R;细骨料:漳州地区河砂,为中砂,级配属Ⅱ区;粗骨料:粒径为5~19 mm的漳州地区白云石碎石;掺合料:莆田地区海蛎壳,经破碎后粒径为16 mm以下;水:自来水。

1.2 混凝土配合比

试验所用C25天然砂混凝土配合比如表1所示,C25海蛎壳混凝土配合比如表2所示。不同替代率下的海蛎壳掺量分别为天然砂混凝土配合比中粗骨料用量的5%、10%、15%、20%。

表1 C25天然砂混凝土配合比

强度等级	原材料配合比用量/(kg·m ⁻³)			
	水	水泥	砂	碎石
C25	230	418	723	1039

表2 C25海蛎壳混凝土配合比

强度等级	海蛎壳替代率/%	原材料配合比用量/(kg·m ⁻³)				
		水	水泥	砂	碎石	海蛎壳
C25	5	230	418	723	987.05	51.95
	10	230	418	723	935.1	103.9
	15	230	418	723	883.15	155.85
	20	230	418	723	831.2	207.8

1.3 试验方法

混凝土的立方体抗压强度试验根据《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2019)^[15]进行,按规定方法对试块进行28 d抗压强度值的测试。

2 海蛎壳替代率对混凝土强度的影响结果与分析

2.1 试验结果

海蛎壳替代率对混凝土28 d抗压强度值影响

的试验结果如表3所示。

表3 混凝土28 d抗压强度值的试验结果

类型	海蛎壳替代率/%	28 d抗压强度值 f_{cu}/MPa
C25天然砂混凝土	0	32.1
	5	29.6
C25海蛎壳混凝土	10	28.1
	15	26.6
	20	25.6

从表3可以看出,海蛎壳混凝土28 d抗压强度值随海蛎壳替代率的增加而降低,且抗压强度值降低程度大致上保持一致,呈现出一定的变化规律。从试验结果来看,海蛎壳替代后的混凝土强度能够符合强度等级标准要求,但与天然砂混凝土相比,海蛎壳混凝土的抗压强度值均低于天然砂混凝土。海蛎壳混凝土的抗压强度值偏低,与海蛎壳掺量有一定的关系。另外,本试验采用白云石碎石,相对于石灰岩、花岗岩碎石,白云石碎石的强度较低,用在混凝土中当作粗骨料,会影响到混凝土的抗压强度,需要进一步测定验证。

海蛎壳掺量对混凝土的抗压强度影响程度较大。海蛎壳的掺入会改变混凝土内部骨料的密实结构,使得混凝土中碎石的用量减少,影响到混凝土的抗压强度。

2.2 机理分析

从表3可以看出,掺入海蛎壳后,混凝土的抗压

强度随着掺量的增加而逐渐降低,造成这种现象的原因有以下3点:

1)粗骨料的种类、粒径对混凝土强度的影响。本试验所用的粗骨料为白云石碎石,白云石在强度上较石灰岩,花岗岩等低,因而抗压强度相对较低。另外,用于试验的白云石粒径相对偏小,从混凝土凝结到硬化过程中所形成的混凝土内部骨架结构强度相对偏弱,进而影响到混凝土的整体强度,混凝土的抗压作用较弱,对混凝土强度会产生一定的影响。海蛎壳掺入混凝土中进一步改变了混凝土骨料内部的组成结构,使得混凝土抗压强度降低得更为明显。

2)海蛎壳掺入对混凝土中碎石含量的影响。本试验中掺入海蛎壳,海蛎壳掺量的变化会引起混凝土中碎石含量的变化。碎石是粗骨料的重要组成部分,是提高混凝土抗压强度的主要因素。由于海蛎壳的掺入,混凝土中碎石含量减少,改变了混凝土中粗骨料的组成结构,影响了混凝土的整体抗压强度,降低了混凝土的抗压强度值。

3)本试验所用的海蛎壳中含有海蛎壳粉末,这些粉末会吸收混凝土中的一部分水,使得混凝土中用于水泥水化作用的水减少了,混凝土的水化受到了一定的影响,混凝土内部结构组成产生了一定的变化,从而对混凝土强度产生了相应影响。从试验结果来看,粉末主要是起到填充混凝土中空隙的作用,过多的粉末会影响到混凝土的一些性能,对抗压强度值也产生了一定的影响。

3 海蛎壳替代率对混凝土破坏形态的影响

3.1 试验破坏形态



图1 C25天然砂混凝土破坏形态(左为浇筑面,右为侧面)



图2 海蛎壳替代率为5%的C25混凝土破坏形态(左为浇筑面,右为侧面)



图3 海蛎壳替代率为10%的C25混凝土破坏形态(左为浇筑面,右为侧面)



图4 海蛎壳替代率为15%的C25混凝土破坏形态(左为浇筑面,右为侧面)



图5 海蛎壳替代率为20%的C25混凝土破坏形态(左为浇筑面,右为侧面)

从图1~5可以看出,不同海蛎壳替代率的混凝土的破坏形态呈现出一定的规律。混凝土抗压强度的破坏形态与海蛎壳的掺量有一定的关系。从图1可知,C25天然砂混凝土破坏形态为浇筑面出现多条裂缝,将试样分割成柱状,侧面破坏较为剧烈,混凝土破坏形态为中间大两端小。从图2可知,海蛎壳替代率为5%的C25混凝土破坏形态为浇筑面出现少许裂缝,侧面混凝土破坏程度为中间大两端小。从图3可知,海蛎壳替代率为10%的C25混凝土破坏形态为浇筑面出现细微裂缝,但不明显,侧面破坏程度相对较大,但破坏较为均匀。从图4可知,海蛎壳替代率为15%的C25混凝土破坏形态为浇筑面出现少许裂缝,侧面破坏程度相对较小,表面出现多条裂缝。从图5可知,海蛎壳替代率为20%的C25混凝土破坏形态为浇筑面出现少许裂缝,侧面破坏程度小,表面出现多条裂缝。从海蛎壳掺量对混凝土抗压强度的影响程度来看,海蛎壳掺量会影响到混凝土内部的密实结构。海蛎壳掺量少时,混凝土破碎的程度较剧烈,破坏后形成中间小,两端大的柱状结构,能够直接看到内部的结构。海蛎壳掺量多时,混凝土破碎的程度减弱,表面出现多条裂缝,但混凝土试块还能保持原样。总体上,海蛎壳混凝土的破坏形态与基体混凝土有一定的关系,需要探讨混凝土破坏形态与混凝土强度的关系,深入研究其内部结构,对其性能的影响情况进行探讨。

3.2 机理分析

混凝土中海蛎壳掺量会影响混凝土的破坏形态,掺量变化会引起混凝土破坏时裂缝方向的改变,内部骨料结构变化,强度逐渐变小。海蛎壳混凝土抗压强度破坏形态出现这种情况,有以下3个原因:

1)海蛎壳掺量的变化对混凝土破坏形态有一定的影响。在天然砂混凝土配合比保持不变的情况下,用海蛎壳替代部分白云石碎石,相对而言,碎石的强度大于海蛎壳的强度。随着海蛎壳掺量的增加,混凝土中碎石的用量逐渐减少,影响到混凝土的强度。因此,海蛎壳掺量少时,混凝土内部的碎石含量大,则混凝土破坏时较为剧烈,用时长。海蛎壳掺量多时,混凝土内部的碎石含量少,则混凝土较易破坏,影响程度较大。海蛎壳掺量与混凝土的破坏形态之间具有一定的联系,在应用中应充分考虑变化情况。

2)海蛎壳的棱角多样,掺入到混凝土中会影响混凝土的和易性,主要是改变了混凝土的黏聚性,从而影响到混凝土的破坏形态。黏聚性越大,则海蛎壳与骨料之间的黏结强度越强,破坏越剧烈。反之,破坏减弱。

3)试验所用的海蛎壳中含有一部分海蛎壳粉末,这些海蛎壳粉末主要作为混凝土的填料使用。从试验破坏形态来看,海蛎壳掺量越多,混凝土的抗压强度值越低,韧性越好,破坏程度越低。这主要是由于海蛎壳粉末掺入混凝土中会吸收混凝土中的一部分水,影响到水泥的水化。水泥水化作用受到抑制,影响到混凝土内部骨料的密实结构,极易产生裂缝,这些裂缝互相连通,先是从混凝土表面产生,而后延伸到混凝土内部,使得混凝土抗压能力减弱。海蛎壳掺量越多,则海蛎壳粉末越多,混凝土破坏形态变化越明显。因此要重点确定海蛎壳掺量变化范围对混凝土强度所产生的影响,在试验中逐渐调整以符合要求。海蛎壳粉末对混凝土强度的影响需要进一步深入研究探讨。总的来看,C25天然砂混凝土抗压时破坏形态较大,需要进一步探讨海蛎壳破坏形态的影响。

4 结论

本文通过试验研究了 C25 天然砂混凝土在不同替代率下的海蛎壳掺量对混凝土 28 d 抗压强度值的影响,得出了以下结论:

1) 海蛎壳混凝土抗压强度值随海蛎壳替代率的增加而降低,且抗压强度值降低程度呈现出一定的规律性。从本试验得出的结果来看,海蛎壳替代后的混凝土强度能够符合强度等级标准要求,但海

蛎壳混凝土的抗压强度值均低于天然砂混凝土的抗压强度值。

2) 海蛎壳混凝土的破坏形态与海蛎壳的掺量有关系。海蛎壳掺量越少,碎石含量越高,则混凝土破坏程度越剧烈,破坏形态呈现出一定的规律性,这与混凝土内部结构的密实性有关系。混凝土密实性提高,强度相应提高,破坏程度变大,形态变化也越大。

参考文献:

- [1] MO K H, ALENGARAM U J, JUMAAT M Z, et al. Recy-cling of seashell waste in concrete: a review[J]. Construction and Building Materials, 2018, 162: 751-764.
- [2] 王莲莲, 陈丕茂, 陈勇, 等. 贝壳礁构建和生态效应研究进展[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(4): 449-454.
- [3] 代银平, 王雪莹, 叶炜宗, 等. 贝壳废弃物的资源化利用研究[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(2): 203-208.
- [4] YOON G L, KIM B T, KIM B O, et al. Chemical-mechanical Characteristics of Crushed Oyster-Shell [J]. Waste Management, 2003, 23(9): 825-834.
- [5] YANG E I, YI S T, LEEM Y M. Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: part I. fundamental properties[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(11): 2175-2182.
- [6] 王冬丽, 杨策, 赵庆新, 等. 贝壳垃圾透水植生混凝土抗冻性能研究[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(12): 152-156+182.
- [7] NGUYEN D H, BOUTOUIL M, SEBAIBI N, et al. Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers[J]. Construction and Building Materials, 2013, 49: 151-160.
- [8] 程娟, 郭向阳. 搅拌方式及成型工艺对透水砼性能的影响[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(9): 91-94.
- [9] WU F, LIU C, ZHANG L, et al. Comparative study of carbonized peach shell and carbonized apricot shell to improve the performance of lightweight concrete[J]. Construction and Building Materials, 2018, 188: 758-771.
- [10] 李霞, 赵敏, 陈海燕, 等. 多种废弃材料在混凝土人工鱼礁中的研究[J]. 混凝土, 2016(7): 149-152+156.
- [11] 赵晖, 宣卫红, 封家蕊, 等. 废弃贝壳循环再生利用技术研究进展[J]. 金陵科技学院学报, 2019, 35(1): 34-39.
- [12] 周英明, 吴国忠, 郑秀梅, 等. 牡蛎壳替代部分细骨料对混凝土基本性能影响机理的研究[J]. 混凝土, 2021(1): 73-76.
- [13] 唐衍力, 唐璐璐, 孙利元, 等. 添加牡蛎壳粉对混凝土鱼礁性能的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2019, 49(s1): 1-8.
- [14] 高潮, 潘柱, 陈洪洲. 以贝壳为骨料混凝土的正交试验与分析[J]. 山西建筑, 2012, 38(14): 112-113.
- [15] 中华人民共和国国家标准. 混凝土物理力学性能试验方法标准: GB/T 50081-2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.