

文章编号: 1005-0523(2020)04-0001-06

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2020.04.001

## 骨料粒径对珊瑚混凝土力学性能影响

余大鹏<sup>1</sup>, 易金<sup>1,2</sup>, 宋兆萍<sup>1</sup>, 申妮<sup>1</sup>, 张继旺<sup>1</sup>, 安邦国<sup>1</sup>

(1. 桂林理工大学土木与建筑工程学院, 广西 桂林 541004; 2. 广西壮族自治区北部湾绿色海工材料工程研究中心, 广西 桂林 541004)

**摘要:**为研究珊瑚粗骨料粒径对珊瑚混凝土力学性能的影响,开展0.50,0.40和0.33共3种水灰比( $w/c$ )条件下,5~10,5~20 mm和5~31.5 mm连续级配的珊瑚混凝土力学性能试验研究。研究表明:新拌全珊瑚混凝土流动性受骨料粒径影响显著,受条状、树枝状骨料占比的增加影响,骨料粒径越大流动性越差,主要原因是,其咬合互锁作用不利于骨料的翻转,降低了新拌珊瑚混凝土流动性;粒径大小对于珊瑚混凝土破坏过程存在一定影响,主要表现为破坏面处骨料贯穿破坏数量,但最终破坏形态差距并不明显;较大粒径珊瑚骨料有利于增强低水灰比条件下珊瑚混凝土抗折强度,不规则排列的珊瑚碎屑条状特性颗粒在水泥砂浆强度较低时表现出一定的桥接能力,随着水泥砂浆强度提高,其增强效果逐渐降低。

**关键词:**全珊瑚混凝土;骨料粒径;水灰比;力学性能

中图分类号: TU528.572

文献标志码: A

本文引用格式: 余大鹏, 易金, 宋兆萍, 等. 骨料粒径对珊瑚混凝土力学性能影响[J]. 华东交通大学学报, 2020, 37(4): 1-6.

**Citation format:** YU D P, YI J, SONG Z P, et al. Effects of coral aggregate particle size on mechanical properties of coral concrete[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2020, 37(4): 1-6.

粗、细骨料总体积一般会占到混凝土体积的60%~80%,其强度、尺寸、表面形状和粗糙度等都会明显影响混凝土性能。一般认为粗骨料尺寸的增大,“骨架效应”和阻裂作用会得到一定增强,可提高混凝土的静态压缩强度和抗断裂强度。但是,混凝土强度的提升不会随着骨料粒径的增大而单调增加,并与骨料强度和水泥浆强度比值密切相关。此外,骨料粒径与级配也会显著影响新拌混凝土和易性,并进一步影响混凝土强度<sup>[1-5]</sup>。珊瑚混凝土是以珊瑚碎屑作为粗(细)骨料制备的特殊混凝土,对于远海岛礁建设工程和海洋资源开发与保护具有较高的经济价值和战略意义<sup>[6-9]</sup>。目前,有关珊瑚混凝土的制备、基本力学性能、耐久性等<sup>[10-17]</sup>方面开展了相应研究并取得许多研究成果。由于珊瑚骨料具有质轻、多孔、形态不一、针状颗粒占比高等特点,其对珊瑚混凝土强度影响与常规骨料有显著差异性,通过不同水灰比、粒径级配珊瑚混凝土的基本力学性能的试验研究,分析骨料粒径大小对珊瑚混凝土工作性能、破坏形态和强度的影响。

### 1 试验概述

#### 1.1 原材料

选用南海航道清理采掘的天然碎屑作为骨料,42.5级普通硅酸盐水泥,拌合水为3.5%质量浓度的人工海水。按照国内标准砂颗粒级配掺配珊瑚砂,并根据建筑砂浆基本性能试验方法标准(JGJ/T 70-2009),测定了珊瑚砂主要物理性能,见表1所示。试验共筛分3种不同规格连续级配珊瑚粗骨料,如图1所示,并根据轻集料及其试验方法(GB/T 17431.2-2010)测定珊瑚粗骨料主要物理性能参数,具体见表2。同时,每种规格随机选取50颗珊瑚粗骨料,利用IPP软件采集珊瑚骨料椭球体的长轴、中轴、短轴3个特征长度值,计算得出球度值,由图2可以看出,粒径规格越大珊瑚骨料球度值离散性越大,颗粒形状越不规则。

收稿日期: 2020-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(51868014); 广西高等学校高水平创新团队及卓越学者计划项目(桂教人201738-2); 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY0293)

作者简介: 余大鹏(1993—),男,硕士研究生,研究方向为混凝土新材料和混凝土结构耐久性。

通信作者: 易金(1993—),女,助理研究员,硕士,研究方向为混凝土新材料和混凝土结构耐久性。

表1 珊瑚砂(细骨料)的主要物理性能指标

Tab.1 The main physical indexes of sand

珊瑚砂类型	细度模数	表观密度/(kg/m <sup>3</sup> )	堆积密度/(kg/m <sup>3</sup> )	标准稠度/mm
标准珊瑚砂	2.93	2 700	1 480	18

表2 珊瑚粗骨料物理性能指标

Tab.2 The main physical indexes of coral

粒径级配/mm	堆积密度/(kg/m <sup>3</sup> )	表观密度/(kg/m <sup>3</sup> )	空隙率/%	吸水率/%
5~10	969	1 860	46	16
5~20	940	1 730	40	13.6
5~31.5	914	1 620	35	13.2



(a) 5~10 mm 连续级配



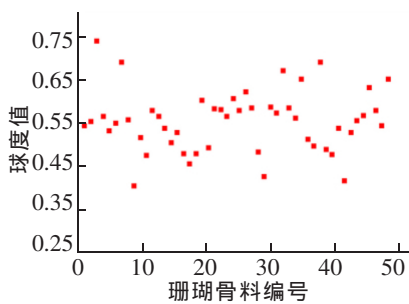
(b) 5~20 mm 连续级配



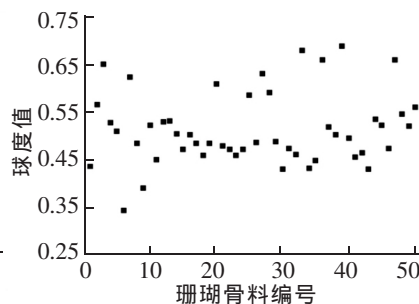
(c) 5~31.5 mm 连续级配

图1 不同规格连续级配珊瑚粗骨料及其详细占比

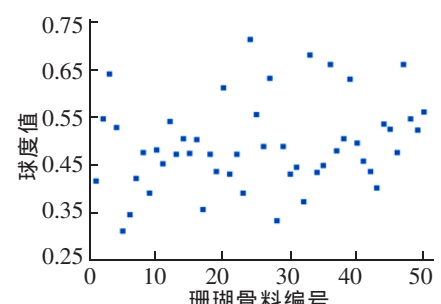
Fig.1 Coarse aggregates of different specifications and detailed proportions



(a) 5~10 mm 连续级配球度值



(b) 5~20 mm 连续级配球度值



(c) 5~31.5 mm 连续级配球度值

图2 不同规格的珊瑚粗骨料球度数值分布情况

Fig.2 Sphericity distribution of coarse aggregates

## 2 结果与分析

### 2.1 骨料粒径对全珊瑚集料混凝土流动性的影响

由图3可以看出,新拌珊瑚混凝土的流动性受珊瑚粗骨料粒径的影响明显,随着粗骨料粒径的增大,坍落度逐渐降低,同水灰比条件下骨料粒径级配越大,其和易性越差。如图4所示,珊瑚骨料多孔且形状复杂的材料特性,需要较多的水泥浆进行填充与包裹,其拌合需水量和水泥用量要明显高于普通混凝土。5~10 mm 连续级配的珊瑚粗骨料以短棒状或小的团块状居多,其外轮廓球度值相对较大,骨料间容易相互滑动,在搅拌

过程中利于与水泥浆的充分接触,骨料形成均匀的包浆效果,降低了滑动摩擦系数,新拌珊瑚混凝土表现出较好的流动性。随着珊瑚粗骨料粒径的增大,连续级配中条状、树枝状的骨料逐渐增多,其棱角鲜明、不规则的外形使得表面粗糙度增大,骨料间的摩擦阻力增大,在搅拌过程中不利于骨料的翻转,容易形成稳定的“刚性骨架”结构,在一定程度上加剧了外裹浆体不均匀的现象,流动性逐渐降低。

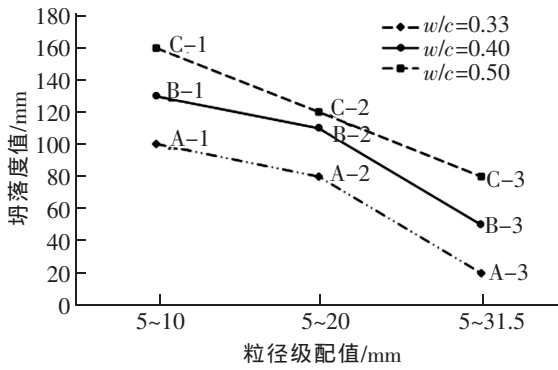


图 3 不同粒径级配珊瑚混凝土的坍落度值  
Fig.3 Slump value of different particle sizes

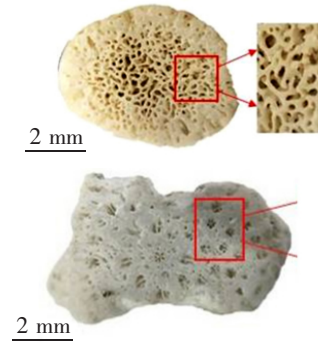
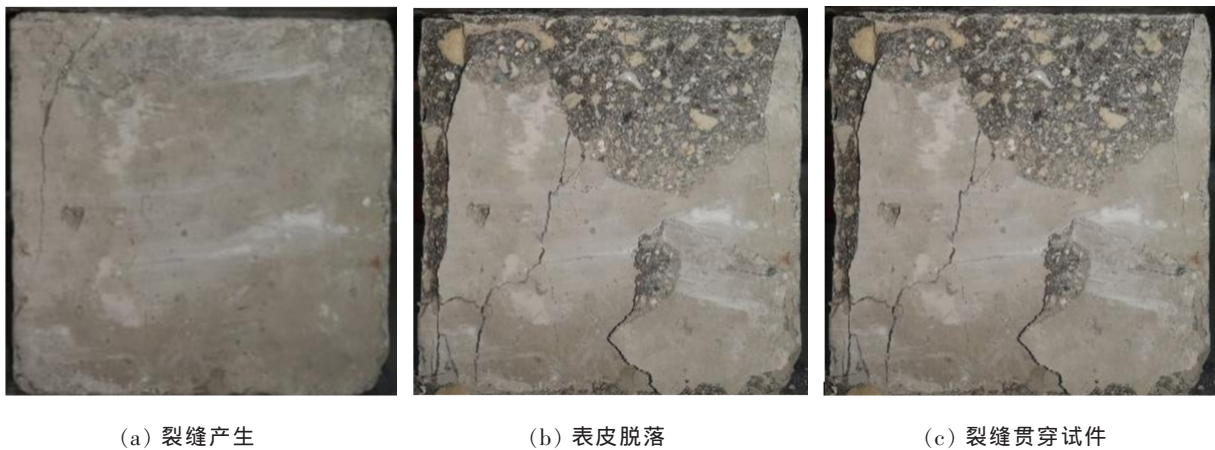


图 4 珊瑚骨料孔隙与表面状况  
Fig.4 Pore and surface conditions of coral aggregate

## 2.2 骨料粒径对于全珊瑚集料混凝土破坏形态的影响

骨料粒径大小对于全珊瑚混凝土的抗压破坏过程和形态影响显著,但对于破坏类型影响效果不明显。试块受压破坏过程如图 5 所示,在承压面两侧的边缘处出现短而细的微裂缝,微裂缝方向平行于受力方向。随着荷载进一步增加,试块中部和侧面边缘处陆续出现独立且不连续的纵向短裂缝。随着竖向荷载的增大,裂缝沿加载方向快速发展。接近破坏时,试块裂缝逐渐向内发展,试块表面外鼓且表皮剥落,当裂缝竖向贯穿时,承载力骤降并破坏,最终形成 2 个对顶的角锥形破坏面。



(a) 裂缝产生 (b) 表皮脱落 (c) 裂缝贯穿试件

图 5 试块开裂及破坏过程  
Fig.5 Cracking and failure process of test block

从试验结果可以看出,不同粒径的珊瑚混凝土的破坏形式仍以骨料与水泥砂浆间的界面黏结破坏和骨料断裂破坏为主,并受水灰比影响。如图 6 所示,高水灰比试件因珊瑚骨料强度高于砂浆强度,更易发生骨料与浆体的界面黏结破坏;较低水灰比时,水泥砂浆强度增加明显,珊瑚混凝土受压破坏时,沿破坏界面的珊瑚骨料容易发生断裂,裂缝直接穿过骨料造成破坏,破坏界面较为平整,呈现出更为明显的脆性破坏特征。值得说明的是,珊瑚骨料的多孔特征存在一定的吸、返水的过程,水泥浆能够“嵌套”进骨料的孔隙中,界面过渡区强度得到一定增强,珊瑚骨料粒径对于破坏形式的影响并不显著,如图 7 所示。

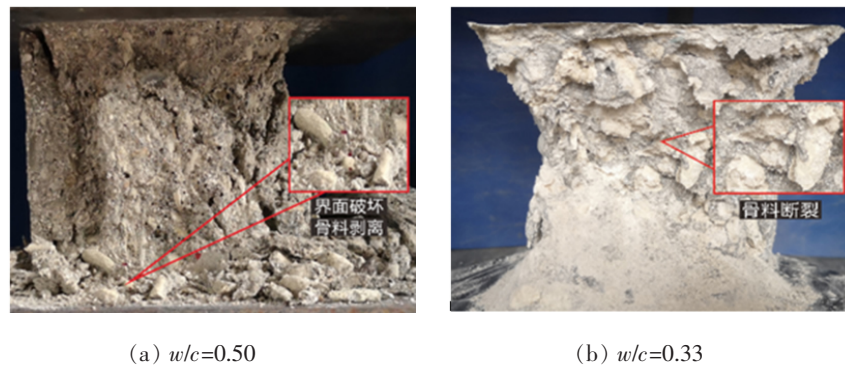
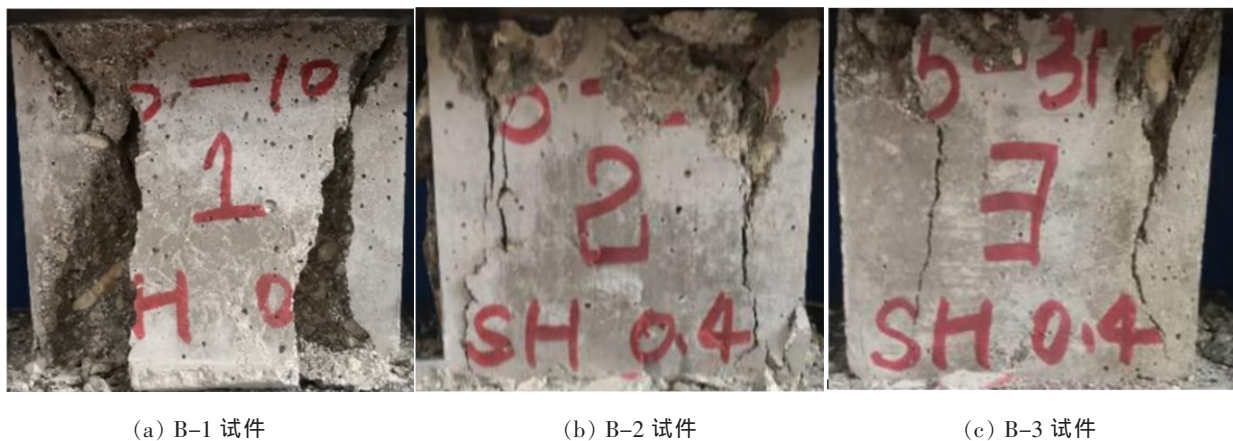


图6 珊瑚混凝土典型破坏形态

Fig.6 Typical failure modes of coral concrete

图7  $w/c=0.40$  时不同粒径的试件破坏形态Fig.7 Specimen with different particle with  $w/c=0.40$ 

### 2.3 骨料粒径对于全珊瑚集料混凝土抗压强度的影响

如图8所示,不同骨料粒径的珊瑚混凝土抗压强度均随水灰比的减小而增加。水灰比0.33试件强度较0.50试件大约增加25%,这主要得益于低水灰比条件下水泥砂浆强度的增加。就骨料粒径而言,珊瑚混凝土的抗压强度随着粒径的增大呈略微增长,水灰比0.33时5~31.5 mm骨料粒径珊瑚混凝土抗压强度相较5~10 mm的增强最明显。高水灰比时,受珊瑚骨料多孔特征的影响,采用振动台振实试件时,珊瑚骨料会出现一定的上浮、分层现象,小粒径骨料配比时表现尤为明显,无法形成稳定的骨架;在保持连续级配条件下,随着骨料粒径的增大,骨料咬合互锁提供的稳定骨架结构能有效减少骨料上浮并约束早期收缩产生的微裂缝,使得抗压强度得到一定增加。

### 2.4 骨料粒径对于全珊瑚集料混凝土抗折强度的影响

抗折试验时,珊瑚混凝土的脆性破坏特征更加明显,试件在加载过程中均未出现明显裂缝,临近极限荷载时才产生裂缝并迅速发展直至破坏。试件的断裂面均较为平整,珊瑚骨料也大部分发生断裂,小粒径珊瑚骨料出现与水泥砂浆粘结破坏。

如图9所示,与抗压强度不同,试验珊瑚混凝土抗折强度随水灰比降低没有显著变化。抗折强度随着粒径的增大呈现出逐渐增大的趋势,小粒径珊瑚骨料在较大水灰比条件下,由于砂浆强度较低,单个骨料的锚固力粘结较弱,出现骨料与砂浆间粘结界面破坏,导致抗折强度较低,随着砂浆强度增加,界面破坏主要表现为贯穿珊瑚骨料的破坏,此时尽管骨料粒径增大可以提高抗折强度,但增强效果不如大水灰比条件下明显。

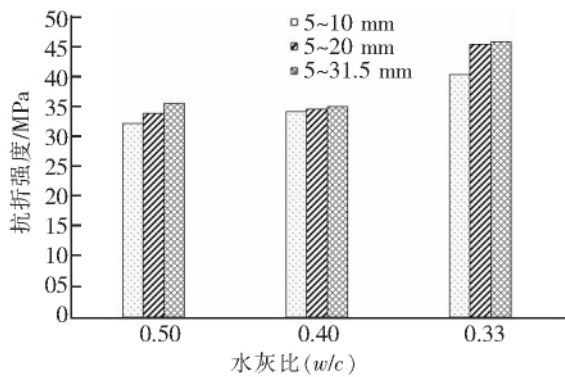


图8 不同水灰比各粒径抗压强度值

Fig.8 Compressive strength values of different water-cement ratio

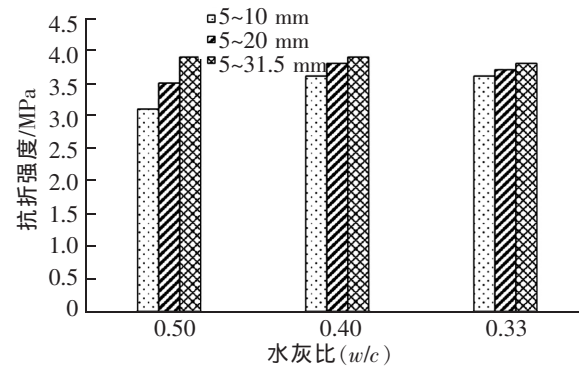


图9 不同水灰比各粒径抗折强度值

Fig.9 Flexural strength values of different water-cement ratio

### 3 结论

1) 新拌全珊瑚混凝土流动性受骨料粒径影响显著。骨料粒径越大,新拌珊瑚混凝土流动性越差,主要原因是条状、树枝状骨料占比的增加,其咬合互锁作用不利于骨料的翻转,降低了新拌珊瑚混凝土流动性。与普通珊瑚混凝土相似,粒径大小对于珊瑚混凝土破坏过程存在一定影响,主要表现为破坏面处骨料贯穿破坏数量。

2) 较大粒径珊瑚骨料有利于增强低水灰比条件下珊瑚混凝土抗折强度,不规则排列的珊瑚碎屑条状特性颗粒数较多,桥接能力有所增强;随着水泥砂浆强度提高,其增强效果逐渐降低。

### 参考文献:

- [1] 吴中伟,廉慧珍. 高性能混凝土[M]. 北京:中国铁道出版社,1999:1-19.
- [2] 王雨利,管学茂,潘启东,等. 粗骨料颗粒级配混凝土强度的影响[J]. 焦作工学院学报,2004,23(3):13-215.
- [3] 何锦云,李清扬,王继宗,等. 粗骨料粒径对低水胶比混凝土强度及和易性的影响[J]. 河北建筑科技学院学报,2005,22(2):24-27.
- [4] TASDEMIR C. Effect of silica fume and aggregate size on the brittleness of concrete [J]. Cement and Concrete Research,1996,26(1):89-93.
- [5] 杨新磊. 浮石及其混凝土的性能与应用研究[D]. 天津:河北工业大学,2004:11-16.
- [6] WANG QIANKUN,LI PENG,TIAN YAPO,et al. Mechanical properties and microstructure of portland cement concrete prepared with coral reef sand[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Materials Science Edition),2016,31(5):996-1001.
- [7] DEMPSEY G. Coral and salt water as concrete materials[J]. Journal Proceedings,1951,48(10):157-166.
- [8] 王磊,赵艳林,吕海波. 珊瑚骨料混凝土的基础性能及研究应用前景[J]. 混凝土,2012(2):99-113.
- [9] 陈兆林,陈天月,曲勳明. 珊瑚礁砂混凝土的应用可行性研究[J]. 海洋工程,1991(3):67-80.
- [10] 巩位,余红发,麻海燕,等. 全珊瑚海水混凝土配合比设计及评价方法[J]. 材料导报,2019(22):3732-3737.
- [11] 马林建,陈欣星,赵跃堂,等. 全珊瑚混凝土的疲劳特性[J]. 硅酸盐学报,2019,47(2):68-73.
- [12] 糜人杰,余红发,麻海燕,等. 全珊瑚骨料海水混凝土力学性能试验研究[J]. 海洋工程,2016,34(4):47-54.
- [13] DA BO,YU HONGFA,MA HAIYAN,et al. Experimental investigation of whole stress-strain curves of coral concrete[J]. Construction and Building Materials,2016,122:81-89.
- [14] LI LIN,ZHAO YANLIN,LV HAIBO,et al. Coral aggregate pre-wet on the mechanical properties of concrete[J]. Concrete,2011,31(1):85-86.
- [15] 朱长歧,陈海洋,孟庆山,等. 钙质砂颗粒内孔隙的结构特征分析[J]. 岩土力学,2014(7):001831-1836.
- [16] 杜敏,金浏,李冬,等. 粗骨料粒径对混凝土弯拉强度尺寸效应影响的试验研究[J]. 北京工业大学学报,2016,42(6):912-918.
- [17] 张廷毅,高丹盈,王宝庭. 三点弯曲下碳纤维高强混凝土张开位移[J]. 水利学报,2010,41(10):1193-1200.

# Effects of Coral Aggregate Particle Size on Mechanical Properties of Coral Concrete

Yu Dapeng<sup>1</sup>, Yi jin<sup>1,2</sup>, Song Zhaoping<sup>1</sup>, Shen Ni<sup>1</sup>, Zhang Jiwang<sup>1</sup>, An Bangguo<sup>1</sup>

(1. School of Civil and Construction Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2. Beibu Gulf Green Marine Materials Research Center, Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guilin 541004, China)

**Abstract:** In order to study the effect of the size of coral coarse aggregate on the mechanical properties of coral concrete, this paper carried out continuous grading of coral concrete with 5–10, 5–20 mm and 5–31.5 mm under three water–cement ratio conditions of 0.50, 0.40 and 0.33. The research results show that the fluidity of newly mixed coral concrete is significantly affected by the aggregate particle size, and the larger the aggregate particle size is, the worse the fluidity will be. The main reason is that its bite–and–lock action is not conducive to the flipping of the aggregate, which reduces the liquidity of the fresh coral concrete. Moreover, particle size has a certain influence on the destruction process of coral concrete, which is mainly reflected in the amount of aggregate penetrating the failure at the failure surface, but the difference in the final failure form is not obvious. Large–size coral aggregate is conducive to enhancing the resistance strength of coral concrete under the condition of low water cement ratio. The irregular arrangement of coral–debris strip characteristic particles shows a certain bridging ability when the strength of cement mortar is low, and the enhancement effect gradually decreases with the increase of the cement mortar strength.

**Key words:** coral aggregate concrete; aggregate particle size; water–cement ratio; mechanical properties