

特细砂混凝土受压与受拉尺寸效应试验研究

崔 岩¹, 薛 宁¹, 车佳玲²

¹宁夏农垦建设有限公司, 宁夏 银川

²宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川

收稿日期: 2025年6月22日; 录用日期: 2025年7月12日; 发布日期: 2025年7月25日

摘 要

为实现特细砂混凝土(USC)的工程应用, 研究了特细砂替代率与试件尺寸对USC超声波速、抗压强度及劈裂抗拉强度的影响, 探究了USC受压与受拉尺寸换算系数的变化规律。结果表明: USC的超声波速均随特细砂替代率的增加而降低, 特细砂替代率为20%时, 边长100 mm和150 mm的USC在28 d时超声波速最高, 分别达到 $3.92 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $4.24 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。随特细砂替代率的增加, USC的受压尺寸换算系数逐渐降低, 受拉尺寸换算系数先降低后增加再降低。特细砂替代率达60%时, 受压与受拉尺寸换算系数均最大程度偏离基准值1。

关键词

USC, 超声波速, 力学性能, 尺寸效应

Experimental Study on the Compression and Tensile Size Effect of Ultra-Fine Sand

Yan Cui¹, Ning Xue¹, Jialing Che²

¹Ningxia Agricultural Reclamation Construction Co., Ltd., Yinchuan Ningxia

²School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan Ningxia

Received: Jun. 22nd, 2025; accepted: Jul. 12th, 2025; published: Jul. 25th, 2025

Abstract

In order to achieve the engineering application of ultra-fine sand concrete (USC), the influences of the substitution rate of ultra-fine sand and the size of specimens on the ultrasonic wave velocity, compressive strength and splitting tensile strength of USC were studied, and the variation law of the conversion coefficient between compressive and tensile dimensions of USC was explored. The results show that the ultrasonic wave velocities of USC decrease with the increase of the substitution rate of ultrafine sand. When the substitution rate of ultrafine sand is 20%, the ultrasonic wave

velocities of USC with side lengths of 100 mm and 150 mm are the highest at 28 d, reaching $3.92 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ and $4.24 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ respectively. With the increase of the substitution rate of ultrafine sand, the compression dimension conversion coefficient of USC gradually decreases, and the tensile dimension conversion coefficient first decreases, then increases, and then decreases again. When the substitution rate of ultrafine sand reaches 60%, the conversion coefficients of compressive and tensile dimensions deviate from the reference value by 1 to the greatest extent.

Keywords

USC, Ultrasonic Wave Velocity, Mechanical Properties, Size Effect

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

特细砂指粒径小于 0.25 mm、细度模数介于 0.7~1.5 之间的沙子，通常来源于工程周边的风积砂[1]、疏浚砂[2][3]及沉积砂[4]等。USC 是指以特细砂定量取代河砂或机制砂等细骨料制备的混凝土。李星波等[5]研究了黄河特细砂掺量对水泥砂浆力学性能的影响，发现其立方体抗压强度降低了 8.8%。陈劲戈[6]提出了制备 UHPC 时黄河特细砂的最优级配组合，所得 UHPC 的 28 d 抗压强度大于 100 MPa。王松亮等[7]采用机制砂与特细砂复配制混凝土，发现随特细砂掺量增加，混凝土的和易性和抗压强度均有所提高。因此，使用 USC 可实现特细砂就地取材与资源化利用，对降低工程成本、促进建筑行业可持续发展具有重要意义。

混凝土尺寸效应[8]-[10]是在不同尺寸的混凝土结构中，由于尺寸变化引起的材料力学性质和结构性能的变化[11]-[14]。许多学者对不同类型混凝土构件的尺寸效应展开了深入研究。Wang 等[15]研究了试样尺寸对再生骨料保温混凝土(RATIC)抗压强度和劈裂抗拉强度的影响，发现再生粗骨料替代率对抗压强度、劈裂抗拉强度和弹性模量的尺寸效应均有轻微影响。Peng [16]、Du [17]探讨了再生骨料混凝土(RAC)的基本力学性能和尺寸效应，发现随着混凝土立方体尺寸的增加，RAC 的抗压强度逐渐下降，再生骨料取代率的增加降低了尺寸效应对 RAC 抗压强度的影响。Liu 等[18]通过建立细观模型，研究了构件尺寸对轻骨料混凝土(LWAC)拉伸强度的影响，认为水胶比和轻骨料强度显著影响 LWAC 的尺寸效应。Sim 等[19]发现随着混凝土容重的减小，LWAC 抗压强度尺寸效应越强。Yu 等[20]认为随着立方体尺寸的增加轻质混凝土(LC)的抗压强度逐渐降低，且尺寸效应对 LC 抗压强度的影响比普通混凝土抗压强度的影响更明显。Dehestani 等[21]-[23]发现随着试样尺寸的增加，自固结混凝土(SCC)强度明显降低。Wen 等[24]发现煤矸石混凝土的尺寸效应相较于普通混凝土更加显著。综上所述，诸多学者对不同类型混凝土的尺寸效应开展了大量研究，但对 USC 尺寸效应的研究仍处于空白。

因此，本文设计两种立方体尺寸(100 mm × 100 mm × 100 mm、150 mm × 150 mm × 150 mm)和 5 种特细砂替代率(0%、20%、30%、40%、60%)制备 USC，开展 USC 超声波速、抗压强度与劈裂抗拉强度试验，系统分析尺寸效应对 USC 力学性能的影响，采用 Origin 拟合 USC 抗压强度的尺寸效应，建立 USC 受压尺寸效应拟合方程。

2. 试验概况

2.1. 试验原材料

USC 的原料包含六大组分：胶凝材料采用宁夏赛马水泥厂 P · O 42.5 R 型硅酸盐水泥与宁夏大坝电

厂生产的 I 级粉煤灰, 粉煤灰比表面积为 $1110 \text{ m}^2/\text{kg}$, 烧失量为 2.8%, 化学组分见表 1。细骨料为金樾府基坑特细砂(比表面积 $150 \text{ m}^2/\text{kg}$, 表观密度 $2439 \text{ kg}/\text{m}^3$)与幸德源矽业机制砂(细度模数 3.4), 特细砂粒径分布见图 1; 粗骨料为宁夏镇北堡生产的 5~25 mm II 级人工碎石; 外加剂选用萘系液体减水剂, 减水率为 15%~25%; 拌和水均采用宁夏本地自来水。

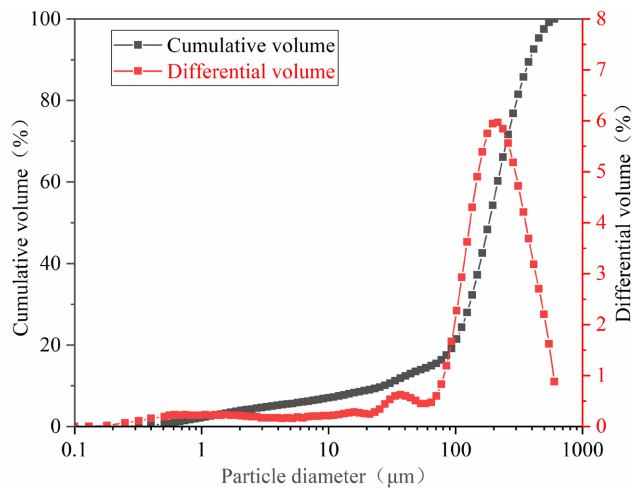


Figure 1. Distribution of ultra-fine sand particle size
图 1. 特细砂粒径分布图

Table 1. Chemical components of fly ash
表 1. 粉煤灰化学组分

Chemical components	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	TiO ₂
Mass ratio (%)	6.12	38.5	23.6	7.49	2.13	3.66	2.14

2.2. 试验设计

Table 2. USC mix proportion
表 2. USC 配合比

Group	Cenment (kg/m ³)	Coarse aggregate (kg/m ³)	Replacement rate of fly ash (%)	Replacement rate of ultra-fine sand (%)	S/B
AF28S0	302.824	1053	28	0	1.92
AF28S2	302.824	1053	28	20	
AF28S3	302.824	1053	28	30	
AF28S4	302.824	1053	28	40	
AF28S6	302.824	1053	28	60	

注: 编号 A 表示水胶比 0.38; S0、S2、S3、S4、S6 分别表示特细砂替代率为 0%、20%、30%、40%和 60%; F28 表示粉煤灰替代率为 28%。

试验以水胶比(0.38)、砂率(0.44)及粉煤灰替代率(28%)为定量, 以特细砂替代率(0%、20%、30%、40%和 60%)为变量配制 USC, 具体配合比见表 2。根据《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2019)规范, 每组配合比制备 12 个尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm 的立方体试件和 12 个尺寸为 150 mm × 150 mm × 150 mm 立方体试件。3 个边长 100 mm 和 3 个边长 150 mm 的试件为 1 小组, 共 4 小组,

其中 1 小组用于测定 USC3d 超声波速与抗压强度, 1 小组用于测定 7 d 超声波速与抗压强度, 1 小组用于测定 28 d 超声波速与抗压强度, 最后 1 小组用于测定 USC 28d 劈裂抗拉强度, 共计 120 个试件。

2.3. 试验方法

2.3.1. 试件制备与养护

根据试验配合比称量原材料, 将水泥、粉煤灰及细骨料依次倒入混凝土搅拌锅中混合搅拌 15 s 后, 加入粗骨料混合搅拌 15 s, 减水剂加入清水中搅拌均匀后倒入混凝土搅拌锅中继续搅拌 2 min。搅拌完成后, 将混凝土拌合物分两次装入尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm 与 150 mm × 150 mm × 150 mm 的模具中, 在振动台上振捣成型 1 min。试件浇筑 24 h 后脱模, 采用非金属超声检测仪(ZBL-U520)测定 USC 的初始超声波速后, 迅速将试件移入标准养护室(温度 20 ± 2℃, 相对湿度 ≥ 95%)养护至规定龄期。

2.3.2. 超声波速、抗压强度与劈裂抗拉强度测定

采用非金属超声检测仪(ZBL-U520)测定脱模后(D0)、3d (D3)、7d (D7)与 28d (D28)的 USC 试件超声波速。试件达到规定龄期后从标准养护室取出, 擦干试件表面水分, 置于阴凉处晾干, 采用试件侧面为测试面, 选择 5 对测试点, 测试点布置图见图 2。测量时在连接换能器与测点位置均匀涂抹少量凡士林, 用于填充试件表面与换能器之间空隙, 保证换能器与试件表面接触良好, 减少超声波能量损失。

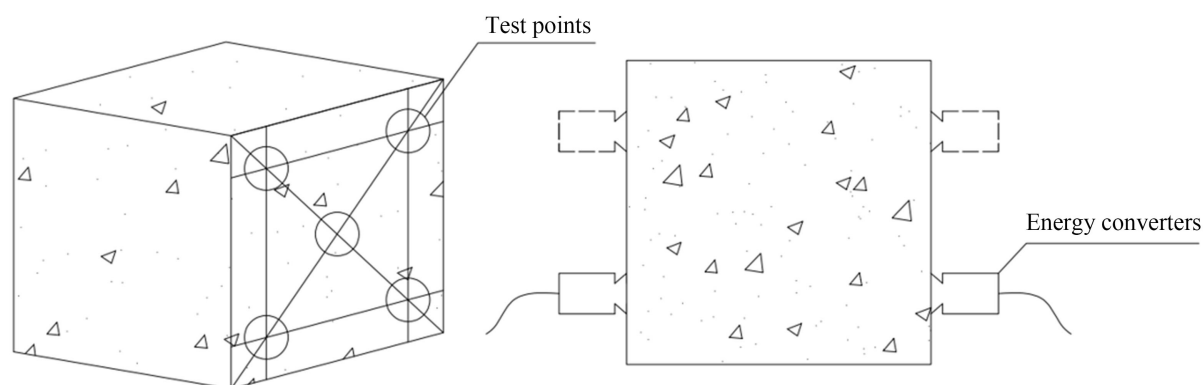


Figure 2. Layout of measuring points

图 2. 测点布置图

USC 立方体试件养护至 3 d、7 d、28 d 龄期时, 根据《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2019), 采用微机控制电液伺服万能试验机(SHT4106)测定试块抗压强度, 加载方式为应力控, 加载速度为 0.5 MPa/s。试块养护至 28 d 时, 使用微机控制电子万能试验机(CMT5305)测定试块劈裂抗拉强度, 加载方式为应力控, 加载速度为 0.08 MPa/s。当加载仪器数值停止上升时表示试件已破坏, 停止加载, 取 3 个试件的平均值作为试验值。

2.3.3. 尺寸换算系数

尺寸换算系数 β 用于量化 150 mm 与 100 mm 立方体试件的力学性能差异, 实现非基准强度向基准值的转换(GB/T 50081-2019)。如公式(1)所示, 该系数以 150 mm 试件抗压强度为基准定义。

$$\beta_{cu, 100} = \frac{f_{cu, 150}}{f_{cu, 100}} \quad (1)$$

式中: $f_{cu, 150}$ 、 $f_{cu, 100}$ 分别表示边长为 150 mm 与 100 mm 的立方体试件抗压强度, MPa。

3. 结果与讨论

3.1. 超声波速

USC 的超声波速变化情况如图 3 所示。由图可知, 不同龄期的边长 100 mm 与边长 150 mm 的 USC 试件超声波速总体上呈现出相同的变化规律, 超声波速随特细砂替代率的增加而降低, 随养护龄期的增加而增加。相同龄期下, 特细砂替代率为 20% 的 USC 超声波速最高, 养护 28 d 边长 100 mm USC 试件超声波速达到 $3.92 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, 边长 150 mm USC 试件超声波速达到 $4.24 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这是因为较小粒径的骨料在混凝土中的传导速度相对较慢, 当特细砂替代率增加时, 混凝土中细骨料的含量增加, 导致骨料的平均粒径变小, 使混凝土中形成更多的细小孔隙, 这些孔隙会降低混凝土的密实性, 最终降低超声波在混凝土中的传播速度[25] [26]。

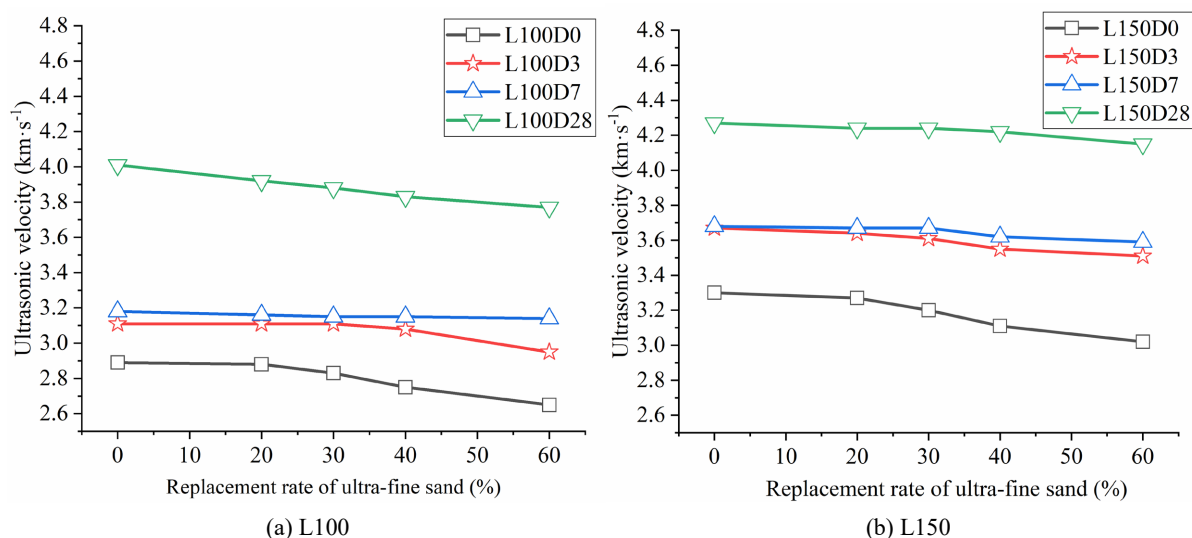


Figure 3. USC ultrasonic velocity
图 3. USC 超声波速

3.2. 抗压强度与劈裂抗拉强度

图 4 展示了不同规格试件中特细砂掺量对混凝土抗压与劈裂抗拉性能的影响规律。根据图 4(a)显示, 混凝土抗压强度随特细砂掺量增加呈持续衰减趋势。当养护龄期达 28 d、特细砂掺量 60% 时, 100 mm 立方体试件抗压强度较基准组降低 14.3 MPa (降幅 23.3%), 而 150 mm 试件则下降 17.7 MPa (降幅 30.8%)。该现象源于两方面机理: 首先, 特细砂比例提升导致骨料体系平均粒径减小, 降低了材料密实度; 其次, 特细砂较大的比表面积使界面过渡区范围扩展[27], 削弱了骨料与水泥浆体间的界面粘结强度, 双重作用最终造成抗压性能劣化。由图 4(b)可知, 随特细砂替代率的提高, USC 劈裂抗拉强度呈现先降低后增加再降低的变化趋势。当掺量达 30% 时, 强度达到峰值, 其中 100 mm 和 150 mm 试件分别达到 6.5 MPa 和 5.6 MPa。

不同尺寸的 AF28S6 组混凝土 3 d 抗压强度下降百分率差值为 7.8%, 7 d 为 5.9%, 28 d 为 7.5%, 28 d 劈裂抗拉强度下降百分率差值为 5.3%, 下降百分率差值均在 8% 以内, 下降幅度基本接近, 说明尺寸效应不会影响特细砂替代率对 USC 抗压强度的降低幅度, 这是因为不同尺寸 USC 在相同特细砂替代率下, 虽然 USC 中含有的特细砂净重量不同, 但其特细砂百分率含量均相同, 使得 USC 中受特细砂影响的程度基本相似。

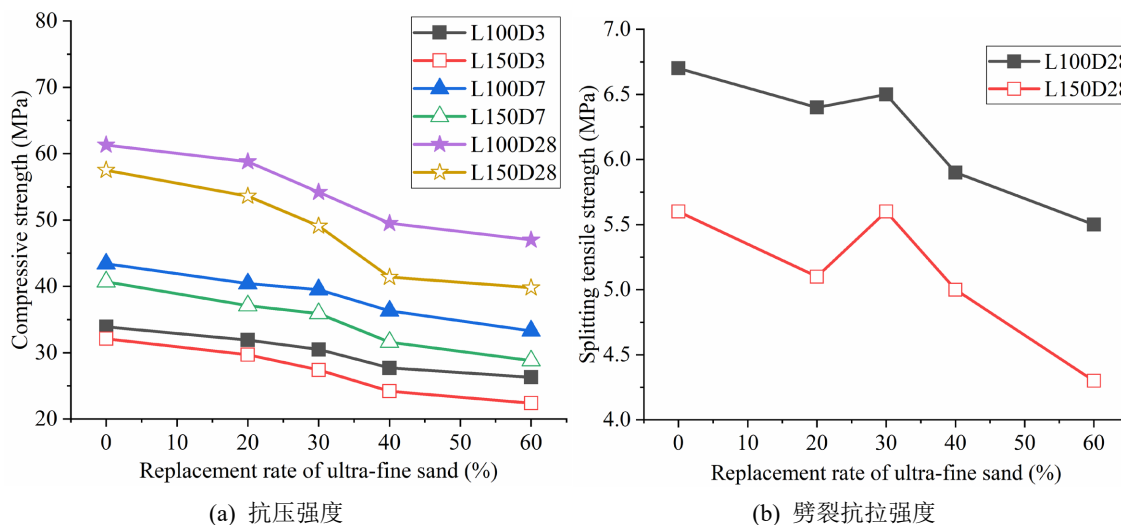


Figure 4. USC compressive strength and splitting tensile strength

图 4. USC 抗压强度和劈裂抗拉强度

3.3. USC 抗压强度的尺寸效应

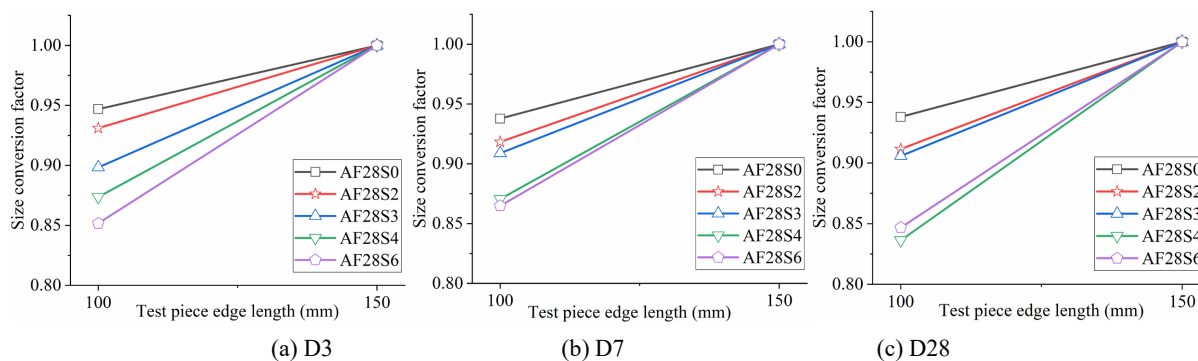


Figure 5. USC compressive strength size conversion factor

图 5. USC 抗压强度尺寸换算系数

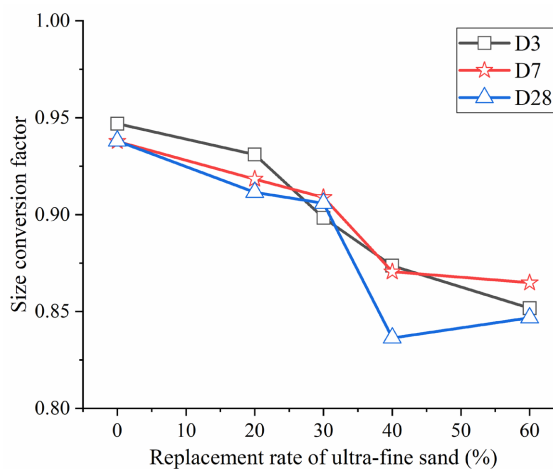


Figure 6. Relationship between the replacement rate of ultra-fine sand and the size conversion coefficient of compressive strength

图 6. 特细砂替代率与抗压强度尺寸换算系数的关系

试验数据带入公式(1)得到 USC 抗压强度尺寸换算系数与试件边长的关系,如图 5 所示。USC 抗压强度存在明显的尺寸效应,同一特细砂替代率下,较大尺寸试件的抗压强度明显低于较小尺寸试件的抗压强度,养护 3 d 时,AF28S2、AF28S3、AF28S4 及 AF28S6 组边长为 150 mm 的 USC 立方体试件抗压强度分别是边长 100 mm 试件的 0.93、0.90、0.87 和 0.85 倍;养护 7 d 龄期,分别是边长 100 mm 试件的 0.92、0.91、0.87 和 0.86 倍;养护 28 d 龄期,分别是边长 100 mm 试件的 0.91、0.91、0.84 和 0.85 倍。

图 6 为 USC 试件抗压强度尺寸换算系数与特细砂替代率的关系。USC 试件的尺寸换算系数随特细砂替代率的增加逐渐降低,特细砂替代率为 60% 的 USC 试件尺寸换算系数偏离 1 的程度明显大于特细砂替代率为 20%、30% 及 40% 的 USC 试件。

3.4. USC 劈裂抗拉强度的尺寸效应

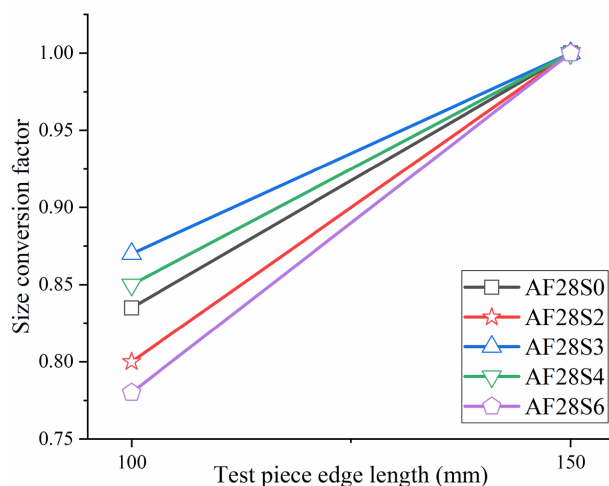


Figure 7. Conversion factors for USC splitting tensile strength dimensions

图 7. USC 劈裂抗拉强度尺寸换算系数

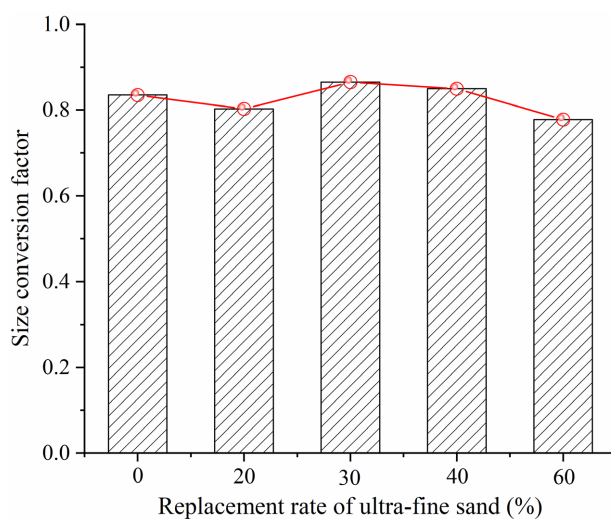


Figure 8. Relationship between the replacement rate of ultra-fine sand and the conversion coefficient of splitting tensile strength dimensions

图 8. 特细砂替代率与劈裂抗拉强度尺寸换算系数的关系

图 7 为 USC 劈裂抗拉强度尺寸换算系数与试件边长的关系。由图可知, USC 立方体劈裂抗拉强度与

抗压强度相同,均存在明显的尺寸效应,同一特细砂替代率下,较大尺寸试件的强度明显低于较小尺寸试件的强度,AF28S2、AF28S3、AF28S4及AF28S6组边长为150 mm的USC立方体试件劈裂抗拉强度分别是边长100 mm试件的0.80、0.87、0.85和0.78倍。

图8展示了USC试件劈裂抗拉强度尺寸换算系数与特细砂替代率的关联规律。数据显示,该换算系数随特细砂替代率提升呈先下降、再上升、后下降的三阶段变化特征。当特细砂替代比例为30%时,试件尺寸换算系数与基准值1的偏差达到最小值;而当替代比例增至60%时,换算系数与基准值的偏离幅度达到峰值,显示出最显著的材料尺寸效应差异。

4. 结论

(1) 不同尺寸的USC超声波速随特细砂替代率的增加而降低,随养护龄期的增加而增加。抗压强度随特细砂替代率的提高而降低,劈裂抗拉强度随特细砂替代率的提高先降低后增加再降低,特细砂替代率为30%时劈裂抗拉强度最高。

(2) USC抗压强度与劈裂抗拉强度存在明显的尺寸效应,USC的受压尺寸换算系数随特细砂替代率的增加逐渐降低,劈裂抗拉强度尺寸换算系数随特细砂替代率的增加先降低后增加再降低。

(3) 特细砂替代率显著影响尺寸效应强度:替代率达60%时,受压与受拉尺寸换算系数均最大程度偏离基准值1,表明此时尺寸效应对力学性能的影响最为显著。

基金项目

宁夏农垦建设有限公司技术开发合同“低碳、环保型砗系列建筑材料的研究与开发”(技术合同登记号:2022640101000054)。

参考文献

- [1] Li, Y.G., Zhang, H.M., Liu, G.X., Hu, D.W. and Ma, X.R. (2020) Multi-Scale Study on Mechanical Property and Strength Prediction of Aeolian Sand Concrete. *Construction and Building Materials*, **247**, Article 118538. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118538>
- [2] Luan, J.J., Chen, X.D., Ning, Y.J. and Shi, Z.X. (2022) Beneficial Utilization of Ultra-Fine Dredged Sand from Yangtze River Channel as a Concrete Material Based on the Minimum Paste Theory. *Case Studies in Construction Materials*, **16**, e01098. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01098>
- [3] Li, S.T., Chen, X.D., Zhang, W., Feng, Z.M. and Wang, R.M. (2022) Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Concrete with Ultra Fine Dredged Sand from Yangtze River. *Acta Materiae Compositae Sinica*, **39**, 335-343.
- [4] Yan, J., Zhong, S., Chen, S.N., et al. (2022) Study on the Application of Sediment-Based Embankment Building and Ultra-High-Performance Concrete (UHPC) Preparation in the Resource Utilization of Yellow River Sediment. *Materials*, **15**, Article 5668.
- [5] 李星波, 刘胜东. 黄河特细砂水泥砂浆的力学性能研究[J]. 低温建筑技术, 2024, 46(12): 153-156.
- [6] 陈劲戈. 黄河特细砂最优级配下浆体量对UHPC性能影响研究[J]. 江西建材, 2024(S1): 34-38+47.
- [7] 王松亮, 杨占彪, 韩乐乐, 等. 机制砂与特细砂复配在混凝土中的应用研究[J]. 中国水泥, 2021(9): 100-102.
- [8] Gonneman, H.F. (1925) Effects of Size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete. Structural Materials Research Laboratory.
- [9] Fládr, J. and Bílý, P. (2018) Specimen Size Effect on Compressive and Flexural Strength of High-Strength Fibre-Reinforced Concrete Containing Coarse Aggregate. *Composites Part B: Engineering*, **138**, 77-86. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.11.032>
- [10] Chockalingam, T., Vijayaprabha, C. and Leon Raj, J. (2023) Experimental Study on Size of Aggregates, Size and Shape of Specimens on Strength Characteristics of Pervious Concrete. *Construction and Building Materials*, **385**, Article 131320. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131320>
- [11] Zhou, J.K., Bi, F.T., Wang, Z.Q. and Zhang, J. (2016) Experimental Investigation of Size Effect on Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Confined Concrete Circular Specimens. *Construction and Building*

- Materials*, **127**, 643-652.
- [12] Zhang, Y., Li, H., Abdelhady, A., Yang, J. and Wang, H. (2021) Effects of Specimen Shape and Size on the Permeability and Mechanical Properties of Porous Concrete. *Construction and Building Materials*, **266**, Article 121074. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121074>
- [13] Ince, R. and Arici, E. (2004) Size Effect in Bearing Strength of Concrete Cubes. *Construction and Building Materials*, **18**, 603-609. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.002>
- [14] Peng, Y.J. and Pu, J.W. (2016) Micromechanical Investigation on Size Effect of Tensile Strength for Recycled Aggregate Concrete Using BFEM. *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, **12**, 525-538. <https://doi.org/10.1007/s10999-015-9333-y>
- [15] Wang, W.J., Liu, Y.Z., Qin, X.C., *et al.* (2022) Size Effects on Mechanical Properties of Recycled Aggregate Thermal Insulation Concrete. *Construction and Building Materials*, **264**, Article 120179.
- [16] Peng, X., Yang, Q.W. and Qin, F.J. (2021) Size Effect on Recycled Concrete Strength and Its Prediction Model Using Standard Neutrosophic Number. *Advances in Civil Engineering*, **2021**, Article 6634772. <https://doi.org/10.1155/2021/6634772>
- [17] Du, Y.B., Zhao, Z.Q., Xiao, Q., *et al.* (2021) Experimental Study on the Mechanical Properties and Compression Size Effect of Recycled Aggregate Concrete. *Materials*, **14**, Article 2323.
- [18] Liu, Y., Wu, T., Wei, H., Liu, X. and Pan, Y. (2022) Size Effect on Tensile Strength of Lightweight Aggregate Concrete: A Numerical Investigation. *Construction and Building Materials*, **323**, Article 126541. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126541>
- [19] Sim, J.I., Yang, K.H., Kim, H.Y. and Choi, B.J. (2013) Size and Shape Effects on Compressive Strength of Lightweight Concrete. *Construction and Building Materials*, **38**, 854-864. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.073>
- [20] Yu, Z.P., Tang, R., Guo, Z.Y. and Huang, Q. (2021) Experimental Study on the Influence of Size Effects on Compressive Dynamic Behavior of Lightweight Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **34**, Article 4052. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0004052](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0004052)
- [21] Dehestani, M., Nikbin, I.M. and Asadollahi, S. (2014) Effects of Specimen Shape and Size on the Compressive Strength of Self-Consolidating Concrete (SCC). *Construction and Building Materials*, **66**, 685-691. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.008>
- [22] Nikbin, I.M., Dehestani, M., Beygi, M.H.A. and Rezvani, M. (2014) Effects of Cube Size and Placement Direction on Compressive Strength of Self-Consolidating Concrete. *Construction and Building Materials*, **59**, 144-150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.008>
- [23] Asadollahi, S., Saeedian, A., Dehestani, M. and Zahedi, F. (2016) Improved Compressive Fracture Models for Self-Consolidating Concrete (SCC). *Construction and Building Materials*, **123**, 473-480. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.030>
- [24] Wen, B., Huang, D., Zhang, L., Song, Q.Y., Gao, G.Y. and Huo, D.W. (2022) Study on Mechanical Properties and Size Effect of Coal Gangue Concrete at Mesoscale. *Construction and Building Materials*, **360**, Article 129551.
- [25] Lin, W.T. (2020) Effects of Sand/Aggregate Ratio on Strength, Durability, and Microstructure of Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, **242**, Article 118046. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118046>
- [26] Zhang, Y.F. and Aslani, F. (2021) Compressive Strength Prediction Models of Lightweight Aggregate Concretes Using Ultrasonic Pulse Velocity. *Construction and Building Materials*, **292**, Article 123419. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123419>
- [27] Li, J.X. and Yang, E.H. (2017) Macroscopic and Microstructural Properties of Engineered Cementitious Composites Incorporating Recycled Concrete Fines. *Cement and Concrete Composites*, **78**, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.12.013>