

[文章编号] 1003—4684(2021)05-0096-04

透水混凝土透水性能与力学性能

张维维, 谭 燕, 帅 佳, 易晨光

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 为提高透水混凝土的透水能力,使透水路面满足更高的透水需求。试验设置五组骨料粒径,通过改变水灰比,研究单级配无砂透水混凝土孔隙率、透水系数与抗压强度的变化情况。结果表明,透水系数随孔隙率增大而增大,随骨料粒径增大而增大,随水灰比增大而出现降—升—降的变化规律。透水混凝土抗压强度随水灰比增大,出现先升后降的变化趋势,随骨料粒径增大而减小,当水灰比等于 0.29 时,抗压强度达到峰值。

[关键词] 透水混凝土; 透水性能; 抗压强度

[中图分类号] TU528.2 [文献标识码] A

城市发展带来的诸多城市生态问题,如热岛效应和城市内涝等^[1],我国政府结合雨洪管理方面的成果和经验,提出了以“海绵城市”^[2]为首的新思路。为建设雨水“渗、滞、蓄、净、用、排”的生态化循环,透水铺装与透水路面得到广泛推广,透水混凝土作为一种多孔隙混凝土,不仅建造成本低,更具有吸声、降噪、防滑^[3]的优点,在雨水的收集与导排过程中起到至关重要的作用。透水混凝土由一系列连通孔隙与实体骨架构成。受孔隙率影响,其力学性能和耐久性能相对较差,抗压强度仅为 2.8~28 MPa^[4],常用于人行道、停车场、公园等。Meininger^[5]认为透水混凝土的孔隙率应至少达到 15%,水流才能从试件内部正常通过。Giustozzi 等^[6]尝试在透水混凝土中掺入一定比例的高分子聚合物,这不仅能改变力学性能,还能优化透水通道。谭源^[7]研究表明,水灰比取 0.33 时透水混凝土抗压强度达到峰值。我国对透水混凝土的研究起步较晚,最早应用于北京林园局的“保护古树”项目中,直至 1993 年,中国建科院才开始对其性能进行深入研究。目前,随着透水混凝土的广泛应用,透水混凝土被用于透水桩、滤水隔板等关键部位,城市建设对透水混凝土的力学性能与透水性能需求不断提高。因此,通过调整配合比,改善透水混凝土的内部孔隙,令其满足更高的使用需求,具有重要的现实意义。试验通过设置五组骨料粒径,五组水灰比,研究透水混凝土孔隙率与透水系数的变化情况,得出透水混凝土透水性能随

配合比变化的规律。

1 试验方案

1.1 试验材料

试验采用 100 mm × 100 mm × 100 mm 的透水混凝土试件,购置武汉区域 10~20 mm 的粗骨料,经 HPEF-100X60 环保型颚式破碎机破碎后机械筛分。设置 3~5 mm、5~7 mm、7~9 mm、9~11 mm、11~13 mm 五组对照组,实物见图 1、图 2。



图 1 各骨料粒径透水试件实物

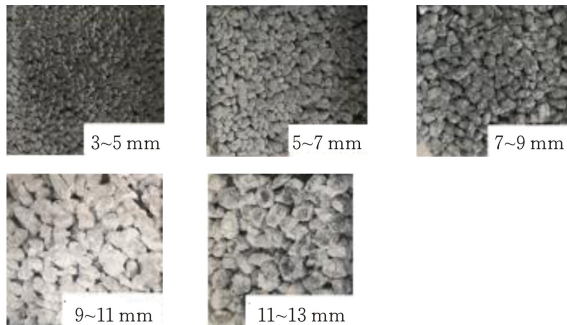


图 2 各骨料粒径透水试件

水泥为 PO42.5 级硅酸盐水泥,性能指标符合

[收稿日期] 2020—12—20

[基金项目] 湖北省技术创新专项(2018AAA028);湖北省大学生创新创业项目(S202010500053)

[第一作者] 张维维(2000—),女,湖北鄂州人,湖北工业大学本科生,研究方向为试验研究与数值模拟

[通信作者] 谭 燕(1981—),女,湖南娄底人,工学博士,湖北工业大学讲师,研究方向为工程材料力学性能

《通用硅酸盐水泥》^[8]要求。为减少非研究因素影响,试验不经振捣自然成型,未添加减水剂与附加用水。水灰比同样设置五组对照组,分别为 0.21、0.25、0.29、0.33、0.39。在 0.21 水灰比作用下,各骨料粒径透水试件如图 2 所示,成型后于 60℃、98% 湿度的环境中养护 3 d。

1.2 试验器材

透水设备参考《多孔混凝土与透水性铺装》^[9]第八章中降水头法测量。试验设备示意图如图 3 所示,实物图如图 4 所示。每次透水试验水位差为 200 mm,试件边缘设置止水胶泥。试验首先让水位保持在高于 200 mm 刻度某处,然后停止注水,令水位自然下落,当通过 200 mm 时开始计时,直至 0 刻度时结束,记录该水位差透水时间 t 。试验初期对定水头法所测透水系数与降水头法透水时间做出比较,结果如图 5 所示。这与达西定律中时间与透水系数成反比关系相同。本实验中,由降水头法所测的透水时间通过实际拟合曲线转换为相应的透水系数。拟合公式如式(1)所示。

拟合曲线:
$$K=345.29\exp(-t/3)+0.44$$
 (1)
式中: K 为透水系数,mm/s; t 为透水时间,s。

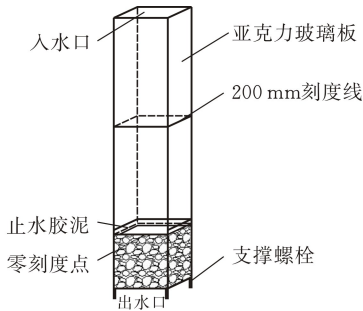


图 3 降水头法透水设备

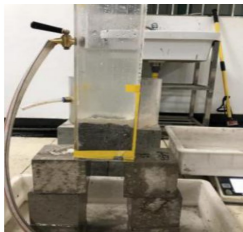


图 4 降水头法透水试验

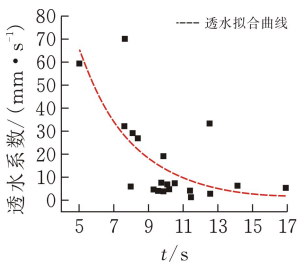


图 5 定水头法与降水头法透水系数转换关系

1.3 孔隙率测量

依据《透水水泥混凝土路面技术规程》^[10],孔隙率测量采用重量法,分别称量试件烘干的重量 m_2 与试件在水中受浮力影响后的重量 m_1 ,测试件受浮力时重量的试验操作实物图与示意图如图 6、图 7 所示。所测孔隙率主要包括连通孔隙与半连通孔隙,其计算公式如式(2)所示。

$$P = \left[1 - \frac{m_2 - m_1}{\rho_w V} \right] \times 100\%$$
 (2)

式中: P 为孔隙率,%; m_1 为试件在水中的重量,g; m_2 为试件干重,g; ρ_w 为水密度,g/cm³; V 为试件体积,cm³。

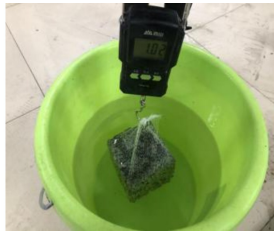


图 6 称量试件受浮力实物

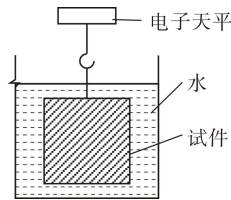


图 7 称量试件受浮力

2 试验结果与分析

如图 8 所示,随骨料粒径增大,透水系数整体呈线性增长。骨料粒径范围大于 11 mm 后,增长趋势开始放缓。骨料粒径由 3~13 mm,受不同水灰比影响时,每组透水系数标准差分别为 6.03、5.28、16.5、10.65、14.93。该离散情况与透水系数测量方法有关,在使用降水头法测透水系数时,透水系数越高,时间变化越快,读表误差越大。整体来看,7~9 mm、9~11 mm、11~13 mm 三组在水灰比 0.21 时透水系数最高,在 0.25 时透水系数最低。

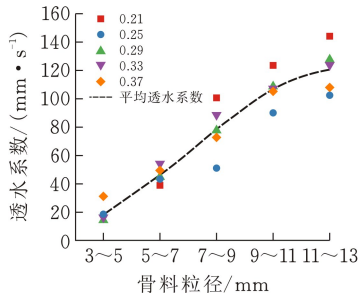


图 8 骨料粒径与透水系数

如图 9 所示,随骨料粒径增大,孔隙率呈现出先

增大后减小的变化趋势。其中 9~11 mm 单级配试件平均孔隙率最大为 34.2%，3~5 mm 单级配试件平均孔隙率最小为 25.7%。孔隙率变化与透水系数变化呈正相关，且均在 9~11 mm 组出现拐点。各组孔隙率受水灰比影响，标准差分别为 0.062、0.0445、0.055、0.025、0.029。该数据说明随骨料粒径增大，水灰比对透水试件影响越小。与王雅思^[11]研究中出现的水泥砂浆堆积现象相似，过高水灰比使胶凝材料具有超强的流动性，容易封堵孔隙，特别是震动成型后水泥沉降，对孔隙与透水能力影响较大。

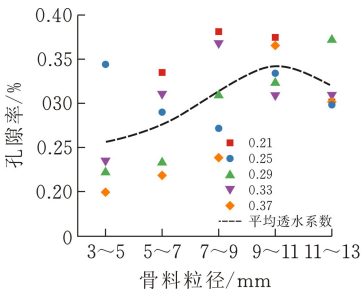


图 9 骨料粒径与孔隙率

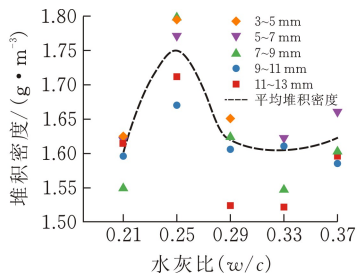


图 10 水灰比与堆积密度

如图 10 所示，透水试件堆积密度随水灰比增高呈先增后降，然后逐步趋于稳定的趋势，水灰比取 0.25 时，不同骨料粒径对应的堆积密度均达到最大值。纵向比较，整体上看，骨料粒径越大堆积密度越小。在多处也出现相反规律，如 0.25 水灰比情况下 9~11 mm 试件堆积密度小于 11~13 mm 试件堆积密度。这与试验的测量误差和试件的正常离散有关，实验结果表明当水灰比设置为 0.25 时，其内部骨料与水泥胶凝材料分配比例好，密实度高，有利于提高其力学性能。

如图 11、图 12 所示，孔隙率与透水系数呈现出相似的变化规律。均出现先下降，然后上升达到某一峰值后再下降的规律。当水灰比取 0.21 时孔隙率与透水系数均达到最高。最高平均孔隙率为 34.6%，最高平均透水系数为 84 mm/s。图 12 中 3~5 mm 与 5~7 mm 粒径组透水系数受水灰比影响较小，7~9 mm、9~11 mm、11~13 mm 组受水灰比影响严重。水灰比为 0.25 时，透水系数最小，透水能力最差。水灰比为 0.29~0.33 时，透水系数

出现极大值。这说明透水试件水灰比取 0.29~0.33 时，水泥胶凝材料分散性较好，在骨料外包裹均匀，局部堆积与封堵情况较少。

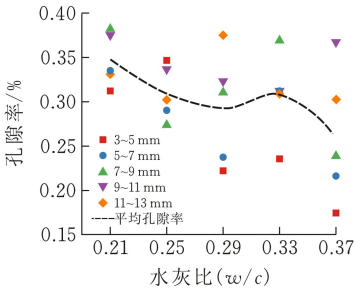


图 11 水灰比与孔隙率

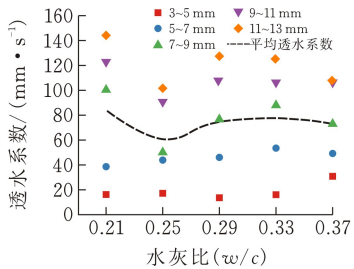


图 12 水灰比与透水系数

如图 13 所示，立方体抗压试验数据表明，影响透水混凝土强度的原因与普通混凝土的有所不同，透水混凝土由骨料粘接而成，孔隙直径，孔隙比例与水泥胶凝材料的流动性，均对其包裹粘接产生影响，进而影响强度。立方体抗压仪实物如图 14 所示。

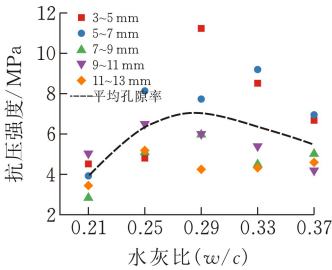


图 13 水灰比与抗压强度



图 14 立方体抗压仪实物

根据图示数据，混凝土抗压强度随水灰比升高呈现先增后降的趋势，当水灰比达到 0.29 时，平均抗压强度达到峰值。纵向比较，整体上看，骨料粒径

越大,立方体抗压强度越低。本次试验中所测透水混凝土抗压强度介于 2.8~11.3 MPa 之间,该数据同样说明了透水混凝土强度不足的问题。当水灰比低于 0.29 时,不仅水泥水化反应不完全,而且水泥流动性差,骨料包裹不均匀,受到垂直荷载施压时,极易从瑕疵部位开裂直至通缝形成。当水灰比高于 0.29 时,水泥流动性过好,胶凝材料下沉严重,混凝土上部孔隙较多,底部胶结层厚。胶凝材料的不均匀分布使其抗压强度逐步下降。

3 结论

- 1)透水系数与孔隙率呈正相关关系,随骨料粒径增大,孔隙率与透水系数均线性增长,粒径高于 11 mm 后孔隙率开始下降,透水系数增长变缓。
- 2)透水系数与孔隙率随水灰比增大,出现降—升—降的规律。水灰比为 0.33 时孔隙率达到极大值,水灰比于 0.29~0.33 之间时透水系数达到极大值。当骨料粒径小于 7 mm 时,水灰比对透水系数影响较小,变化不明显。
- 3)透水混凝土强度随水灰比增加,出现先升后降的变化趋势,当水灰比为 0.29 时,抗压强度达到峰值。骨料粒径越大,相对应的抗压强度越低。

[参 考 文 献]

[1] 焦胜,马伯,黎贝. 中国城市内涝成因和防控策略研究进展[J]. 生态经济, 2019, 35(7): 92-97.

[2] 吴丹洁,詹圣泽,李友华,等. 中国特色海绵城市的新兴趋势与实践研究[J]. 中国软科学, 2016(1): 79-97.

[3] 刘志峰,石丹丹,周斌斌,等. 透水混凝土研究进展及废弃物骨料对其力学性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2018(12): 6-12.

[4] TENNIS P D, LEMING M L, AKERS D J. Pervious concrete pavements[M].Skokie, IL: Portland Cement Association, 2004.

[5] MEININGER R C. No-fines pervious concrete for paving[J].Concrete International, 1988, 10(8): 20-27.

[6] GIUSTOZZI F. Polymer-modified pervious concrete for durable and sustainable transportation infrastructures[J]. Construction and Building Materials, 2016, 111.

[7] 谭燕,谭源,肖衡林,等. 透水混凝土强度试验研究[J]. 混凝土, 2020(5): 126-128+135.

[8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.通用硅酸盐水泥:GB175—2007 [S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,2007.

[9] 宋中南,石云兴. 透水混凝土及其应用技术[D] 北京: 中国建筑工业出版社,2011

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.透水水泥混凝土路面技术规程:CJJGT135G2009[S].北京:光明日报出版社,2009.

[11] 王雅思,游帆,郑广涛. 再生骨料透水混凝土抗压强度及透水性能[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2019, 47(4): 538-543.

Study on Plugging Process and Restoration of Permeable Concrete

ZHANG Weiwei,TAN Yan, SHUAI Jia, YI Chenguang

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment ,Hubei Univ.of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract: In order to improve the water permeability of permeable concrete and make permeable pavement meet higher water permeability requirements,changing the water cement ratio, the porosity, permeability coefficient and compressive strength of single graded sand free permeable concrete were studied. The results show that the permeability coefficient increases with the increase of porosity, aggregate size and water cement ratio. When the water cement ratio is equal to 0.29, the compressive strength of pervious concrete reaches the peak.

Keywords: pervious concrete;permeability;compressive strength

[责任编辑:裴 琴]