

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2018.05.07

碳纤维透水混凝土强度试验研究

汪庆,王小笑,罗梓茗,唐少龙,万思源

(江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029)

摘要:通过碳纤维透水混凝土强度试验,分析了水灰比、碳纤维体积率、孔隙率对透水混凝土抗压强度、抗折强度的影响。结果表明:混凝土抗压强度随着水灰比的增大而减小,抗折强度随着水灰比的增大先增后减,相对最优水灰比为0.25~0.30。抗压、抗折强度随着碳纤维体积率的增加先增后减,在碳纤维体积率为1.5%时达到峰值。抗压、抗折强度随着孔隙率的增大而减小,建议选择孔隙率10%~15%配制透水混凝土。

关键词:碳纤维;力学性能;强度试验;透水混凝土

中图分类号:U416.217

文献标识码:A

文章编号:1004-4701(2018)05-0345-05

0 引言

透水混凝土并不是现代新式材料,早在约150年前,欧洲就已经开始进行对多孔水泥混凝土的制备,制造出许多预制混凝土构件,并将它用于对房屋的建设^[1,2]。目前,国内的某些设计院、科研院所,相关大学对透水混凝土进行了相关研究。例如,依托于国建局,中建科研院在1993年研究了透水混凝土与透水砖的研究,并且进行了实际的试点应用,取得了很好的评价^[3,4]。1998年交通运输部鉴定,专家认为铺筑的透水混凝土砖技术具有国际先进水平^[5]。目前各大设计院以及科研部门对于透水混凝土的绿色环保功能十分青睐,已经在一线城市进行了推广^[6,7]。20世纪90年代,经济迅速发展,在透水混凝土中加入外加剂以及增强剂,可以大幅度的提高混凝土的强度^[8]。长安大学的王秉纲教授和郑木莲博士在1999年做过多孔水泥混凝土排水基层的相关研究,给出了水泥稳定碎石排水基层的建议级配,采用正交试验法和均匀设计法分别对振动成型和插捣成型多孔水泥混凝土进行研究,并提出相应的配合比设计方法^[9-11]。

本文通过查阅文献,了解碳纤维混凝土盖板的使用功能及制作所需原材料的参数、性能指标,分析透水混凝土的强度形成机理以及透水机理。通过室内试验判断和确定所需仪器、制作方法等,进行多组力学性能试验和透水性能试验,根据数据分析不同水灰比、碳纤维体积率以及孔隙率对碳纤维透水混凝土的水力学性能

影响规律;深入研究碳纤维透水混凝土强度与透水性能之间的关系,得出满足要求的最优配合比。

1 试验设计

1.1 试验材料及主要性能

透水混凝土一般是由水泥、水、粗骨料、少量或者没有细集料、化学添加剂等搅拌成的具有多孔隙的混凝土。由于透水混凝土形成过程以及力学性能以及透水性能要求等方面较普通混凝土要求严格,所以对原材料的选择,主要从水泥强度等级、粗骨料粒径及外加剂添加等方面考虑。

水泥:配制C25以下的混凝土,主要选用强度等级32.5以下硅酸盐水泥;配制C30以上的混凝土宜选用强度等级42.5及以上的水泥;本文主要选用混凝土强度等级为C30。

粗集料:粗骨料分为连续级配、间断级配和单粒级配。从力学强度来看,连续级配高于间断级配和单粒级配,从透水性能上看,单粒级配和间断级配高于连续级配。在实际应用中应该视情况而定,透水混凝土既要满足透水性能又要满足力学性能,一般选用单一粒径来制备具有较高强度透水混凝土。

水:和普通混凝土的要求一样,透水混凝土的配置要求是:不影响混凝土的强度及耐久性;不阻碍混凝土的硬化及凝结;对混凝土表面不污染等。因此,能够用来饮用的清洁无杂质的自来水,即可用来满足透水混凝土的搅拌、养护。

收稿日期:2018-06-12

作者简介:汪庆(1990-),女,硕士,助理工程师。

碳纤维:由实验室提供,具有强度高,模量高,易分散,导电性好的特点。

粉煤灰:粉煤灰掺加在混凝土中的作用是节约大量的水泥和细集料,减少用水量,改善混凝土拌合物的和易性,减少混凝土的徐变提高混凝土的抗渗能力。

减水剂:就是减少搅拌混凝土时对水的使用量,改善砂浆的和易性、减少泌水和离析,使混凝土的强度增强。

1.2 试验配合比设计

1.2.1 配合比设计原则

本文提出的设计方法基于《混凝土的填充包裹理论》。该理论的具体描述为在紧密堆积状态下,骨料与骨料之间被水泥等浆体均匀粘结被包裹在一起,胶结材料硬化后,混凝土多孔堆积,就形成了具有很多孔隙的混凝土结构。

1.2.2 配合比设计参数

(1) 水灰比

配合比设计过程中,水灰比是影响透水混凝土力学性能和透水性能的一个重要指标。浆体过稀过稠都会导致混凝土的强度下降。

(2) 粗集料的使用量

使用的粗集料紧密堆积密度 ρ_1 、表观密度 ρ_2 及集料的空隙率 P_0 。该集料每立方米堆积状态下的质量就是混凝土粗集料的使用量,考虑到理论上和实际上的差异性,一般要乘以折减系数 0.98。

(3) 目标孔隙率

目标孔隙率主要影响着透水混凝土的透水系数,且对目标孔隙率的选定直接关系到实际中的孔隙情况变化。根据现有的资料选取 10%、15%、20% 作为本文的三种目标孔隙率。

(4) 碳纤维体积率

和普通混凝土相比,透水混凝土强度上明显不足,特别是体现在抗折强度上,因此在透水混凝土中掺入碳纤维,对增强混凝土的强度作用巨大。根据现有的资料选取的碳纤维直径为 7 μm ,长度为 10 mm,碳纤维体积率为 0%、1.0%、1.5%、2.0%。

1.3 试验方法

搅拌工艺:将 1/2 的粗集料、水泥、粉煤灰、减水剂、50%~60% 的水混合均匀搅拌 2 min,随后再加入粗骨料以及剩下的水搅拌 3 min。

试块制作及养护:利用上述搅拌方式搅拌后,分 3 层装模,每层用捣棒插捣 10 次,加以人工轻轻振动,填满后微微磨平。自然养护 24 h 后拆模。尺寸是 100 \times 100 \times 100 mm^3 的试件用于试验的抗压、抗折强度;每组试验做 6 个试件,3 个用于抗压试验,3 个用于透水试

验;尺寸为 100 \times 100 \times 400 mm^3 的试块用于抗折试验,每组试验做 3 个试件。

采用自然养护,由于用于试验的所有试件均是在夏季完成,温度较高,在 35 $^{\circ}\text{C}$ 左右,所以试件脱模成型后,应该放在阴凉处,用塑料薄膜覆盖,并且每间隔 24 h 洒水一次,连续洒水 7 天。

2 混凝土强度试验研究

2.1 孔隙率对透水混凝土抗压强度的影响

透水混凝土有 3 种孔隙:外部完全封闭,内部有空隙的孔;外部开口,内部不连续的孔;上下贯通,连续的孔。正是由于孔隙上下贯通才能够保证透水混凝土的透水性,但也是导致混凝土强度降低的原因,因此为了保证混凝土的强度以及透水性,合理选择孔隙率十分重要。由于上一小节研究了碳纤维体积率与抗压强度的关系,确定了碳纤维体积率为 1%~1.5% 时能够满足透水盖板的路用性能,因此选取碳纤维体积率为 1%~1.5%;水灰比为 0.20,0.25,0.30,0.35;孔隙率 10%,15%,20% 不同情况下的试验,得出以下数据,根据所得数据绘制孔隙率与抗压强度的关系曲线图。

(1) 碳纤维体积率为 1% 时,孔隙率与抗压强度的关系如表 1,图 1。

表 1 孔隙率与抗压强度的关系(碳纤维体积率为 1%)

孔隙率/%	水灰比			
	0.20	0.25	0.30	0.35
10	21.09	22.10	19.03	17.89
15	20.62	19.26	18.62	16.06
20	19.71	18.93	18.24	15.34

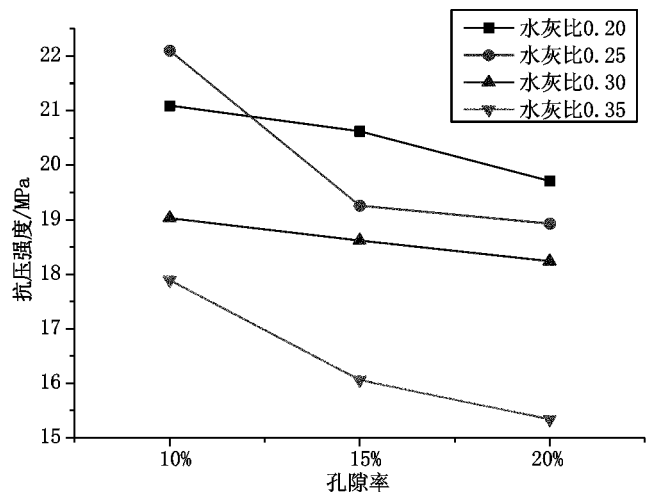


图 1 孔隙率与抗压强度的关系(碳纤维体积率为 1%)

从表1和图1观察到,在碳纤维体积率为1%,孔隙率为10%,15%,20%的条件下,分析关系曲线的整体分布趋势,抗压强度随着孔隙率的增大而减小。水灰比为0.20和0.30时,由图中曲线得出混凝土的抗压强度幅度变化几乎一致,表明孔隙率在10%~15%之间,混凝土抗压强度减弱不明显。水灰比为0.25和0.35时,孔隙率在10%~15%之间,混凝土抗压强度幅度变化大,为17.3%和10.2%,孔隙率在15%~20%之间,混凝土抗压强度幅度变化小,为3.5%和4.3%,表明随着孔隙率的增大,混凝土强度变化趋于稳定。观察到水灰比为0.35时,混凝土的抗压强度要远小于其他水灰比下的抗压强度,因此在进行混凝土盖板配比时,为保证混凝土强度尽量减少水灰比数值。

(2)碳纤维体积率为1.5%时,孔隙率与抗压强度的关系如表2,图2。

表2 孔隙率与抗压强度的关系(碳纤维体积率为1.5%)

孔隙率/%	水灰比			
	0.20	0.25	0.30	0.35
10	25.71	24.23	23.02	22.67
15	24.61	23.81	22.14	21.76
20	21.19	20.05	18.62	16.82

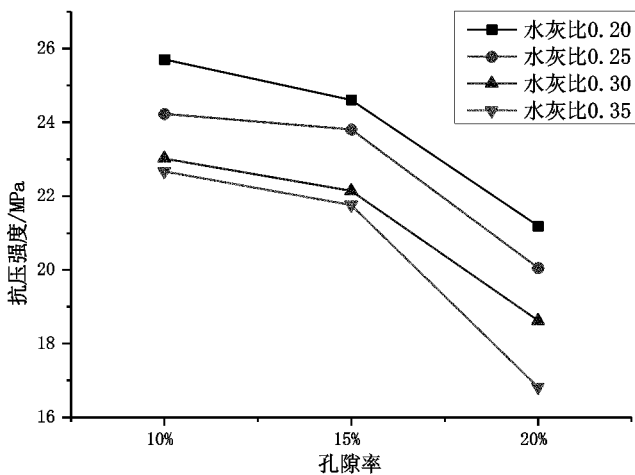


图2 孔隙率与抗压强度的关系(碳纤维体积率为1.5%)

从表2和图2观察到,在碳纤维体积率为1.5%,孔隙率为10%,15%,20%的条件下,分析关系曲线的整体分布趋势是抗压强度随着孔隙率的增大而减小。与图1曲线不同,图2的曲线变化更加平顺。水灰比不同,孔隙率为10%~15%之间时,混凝土的抗压强度幅度变化小,表明混凝土抗压强度减弱不明显;孔隙率为15%~20%之间时,混凝土强度变化幅度较大,表明混凝土抗压强度减弱明显,因此碳纤维体积率为1.5%

时,孔隙率控制在10%~15%之间,混凝土的抗压强度较大,能够更好地满足混凝土盖板的路用性能。

综合以上两组试验数据分析,为了保证混凝土透水盖板的抗压强度满足路用性能,应尽量选择孔隙率为10%~15%配制透水混凝土。根据图2得出,水灰比为0.35时,混凝土的抗压强度要远小于其他水灰比下的抗压强度,故在配制透水混凝土时应该尽量减少水灰比值。

2.2 水灰比对透水混凝土抗折强度的影响

(1)孔隙率为10%时,水灰比与抗折强度的关系如表3,图3。

表3 水灰比与抗折强度的关系(孔隙率为10%)

水灰比	碳纤维体积率			
	0	1%	1.5%	2.0%
0.20	4.41	6.47	7.36	7.28
0.25	5.59	7.32	8.29	8.06
0.30	6.20	8.15	9.17	7.49
0.35	5.08	7.22	8.00	6.89

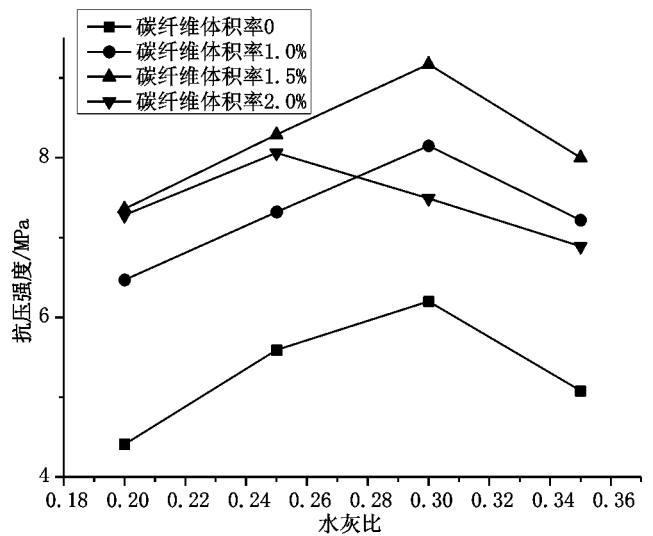


图3 水灰比与抗折强度的关系(孔隙率为10%)

从表3和图3观察到在同一条曲线下,即在固定的碳纤维体积率下,曲线的整体趋势是混凝土的抗折强度随着水灰比的变化先增大后减小,除碳纤维体积率为2.0%的曲线外,其它三条曲线均在水灰比0.30处混凝土抗折强度达到峰值。水灰比为0.20~0.25时,试块抗折强度上升幅度为26.7%,13.1%,12.6%,10.7%;水灰比为0.25~0.30时,抗折强度上升幅度为10.9%,11.3%,10.6%;7.1%;水灰比为0.30~0.35之间时,抗折强度下降幅度18.1%,11.4%,12.8%,

8%,水灰比为0.25~0.30时,幅度变化相对较小,说明水灰比为0.25~0.30时,混凝土的抗折强度增强不明显,强度趋于稳定。同时发现在水灰比相同时,碳纤维体积率为0%的曲线与其它曲线数值差距较大,表明水灰比相同时,碳纤维的掺入对混凝土的抗折强度影响很大。为了满足混凝土盖板的路用性能,水灰比尽量在0.25~0.30之间。

(2)孔隙率为15%时,水灰比与抗折强度的关系如表4,图4。

表4 水灰比与抗折强度的关系(孔隙率为15%)

水灰比	碳纤维体积率			
	0	1%	1.5%	2.0%
0.20	3.52	5.37	6.32	6.33
0.25	4.67	6.73	7.73	6.83
0.30	5.23	7.20	8.86	7.03
0.35	5.35	7.69	8.77	6.40

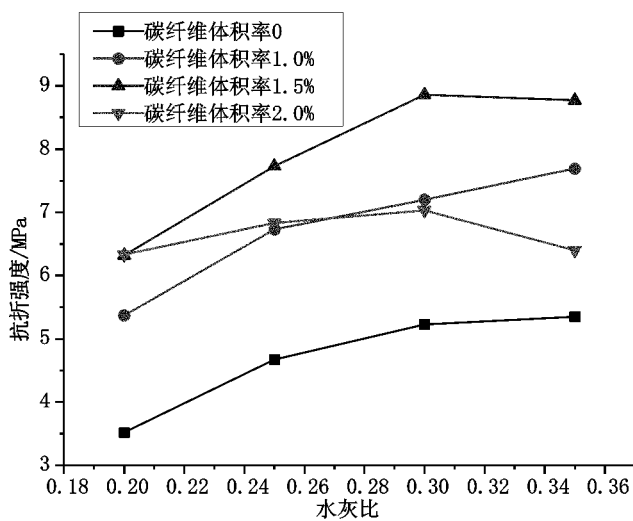


图4 水灰比与抗折强度的关系(孔隙率为15%)

从表4和图4观察到,碳纤维体积率为1.5%、2.0%时,曲线的趋势是混凝土的抗折强度随着水灰比的增大先增大后减小,水灰比0.3时达到峰值。水灰比为0.2~0.3之间时碳纤维体积率为1.5%的曲线增加幅度明显大于碳纤维体积率为2.0%的曲线幅度,表明水灰比一定的情况下,碳纤维体积率为1.5%的混凝土抗折强度的弯拉性能更好;碳纤维体积率为0、1.0%时曲线的趋势是随着水灰比的增加而增加,水灰比为0.30~0.35之间时曲线趋势增加不再明显,表明水灰比达到一定值时混凝土的抗折强度难以再增强。与图3相似,水灰比相同时,碳纤维体积率为0%的曲线与其它曲线数值差距较大,表明水灰比相同时,碳纤维的掺入对混凝土的抗折强度影响很大。

人对混凝土的抗折强度影响很大。结合图中的四条曲线趋势,在对透水混凝土盖板设计时,水灰比尽量控制在0.25~0.30之间。

(3)孔隙率为20%时,水灰比与抗折强度的关系如表5,图5。

表5 水灰比与抗折强度的关系(孔隙率为20%)

水灰比	碳纤维体积率			
	0	1%	1.5%	2.0%
0.20	2.53	4.60	5.59	5.38
0.25	3.17	5.17	6.17	6.23
0.30	5.20	7.20	8.13	6.40
0.35	4.47	6.47	7.53	6.09

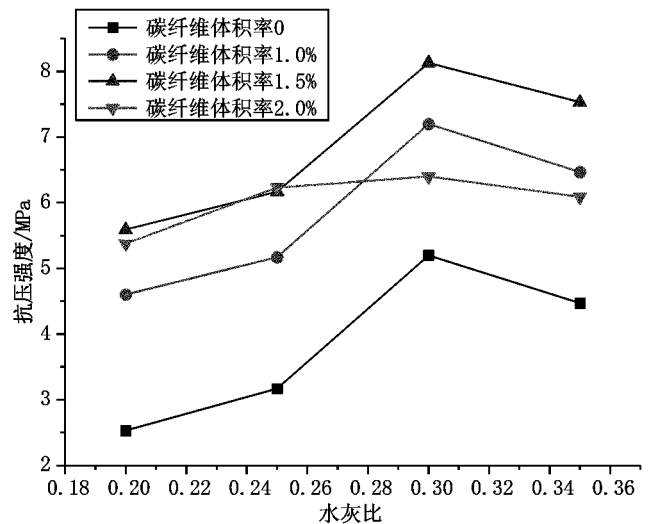


图5 水灰比与抗折强度的关系(孔隙率为20%)

从表5和图5观察到,在同一条曲线下,即在固定的碳纤维体积率下,曲线的整体趋势是混凝土的抗折强度随着水灰比的变化先增大后减小,均在水灰比0.30处混凝土抗折强度达到峰值。碳纤维体积率为0、1.0%、1.5%时,3条曲线的变化趋势相似,表明水灰比对抗折强度的影响与碳纤维的量关系不大。水灰比0.25~0.30之间,混凝土抗折强度幅度变化较大,表明在此区间的水灰比内,改变水灰比的大小能够更好地改变混凝土抗折强度。碳纤维体积率为2.0%时,曲线整体幅度变化很小,表明碳纤维体积率较大的情况下,水灰比的增加并不能使混凝土的抗折强度增大,也就是说应尽量减少混凝土中碳纤维的掺量。与图3、4相似,水灰比相同时,碳纤维体积率为0%的曲线与其它曲线数值差距较大,表明水灰比相同时,碳纤维的掺入对混凝土的抗折强度影响很大。

综合以上3组试验数据分析,为了保证混凝土透水盖板的抗折强度满足路用性能,应尽量选择水灰比为

0.25~0.30 配制透水混凝土。

3 结 论

(1) 选用质量法来测试的实测孔隙率与目标孔隙率几乎完全符合,水灰比为0.30时,目标孔隙率与实测孔隙率的符合度最为接近,其次水灰比为0.20。碳纤维体积率为1%时目标孔隙率与实测孔隙率符合度最高,其次为碳纤维体积率为1.5%。

(2) 综合抗压、抗折试验数据,混凝土抗压、抗折强度随着碳纤维体积率的增加先增大后减小,在碳纤维体积率为1.5%时达到峰值,为了保证混凝土透水盖板的抗压、抗折强度满足路用性能以及兼顾经济性,应尽量选择碳纤维体积率为1%~1.5%配制透水混凝土。

(3) 综合抗压、抗折试验数据,混凝土的抗压、抗折强度随着孔隙率的增大而减小,为了保证混凝土透水盖板的抗压、抗折强度满足路用性能,应尽量选择孔隙率为10%~15%配制透水混凝土。

参考文献:

[1] 甘冰清. 透水混凝土的配合比设计及其性能研究[D]. 安徽理工大

学,2015.

[2] 韩建国. 透水混凝土的性能和应用现状综述[J]. 混凝土世界,2014(10):46~52.

[3] 解振龙. 大空隙改性水泥混凝土路面基层(PCPB)路用性能研究[D]. 河北工业大学,2010.

[4] Adeshina A. Adewumi, Taoreed O. Owolabi, Ibrahim O. Alade, Sunday O. Olatunji. Estimation of physical, mechanical and hydrological properties of permeable concrete using computational intelligence approach[J]. Applied Soft Computing, 2016, 42.

[5] 徐金欣. 降噪排水多孔水泥混凝土材料性能与组成设计方法研究[D]. 长安大学,2012.

[6] 王东. 多孔水泥混凝土路面的温度效应分析[D]. 长安大学,2011.

[7] 郭金波. 透水路面材料和路基的实验研究[D]. 沈阳建筑大学,2011.

[8] P. J. Schubel, N. A. Warrior, K. S. Elliott, M. Jones. An Investigation into the critical factors affecting the performance of composite controlled permeable formwork liners; Part I - Drainage medium[J]. Construction and Building Materials, 2007, 22(7).

[9] 潘熙洋. 多孔水泥混凝土路面材料制备方法及其性能研究[D]. 长安大学,2010.

[10] 盛燕萍, 郑木莲. 免振捣多孔混凝土及其工作性评价[J]. 路基工程, 2008(03):75~76.

[11] 盛燕萍, 陈拴发, 郑木莲, 等. 免振捣多孔混凝土配合比设计方法[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(01):44~49.

编辑:张绍付

Experimental study on strength of carbon fiber permeable concrete

WANG Qing, WANG Xiaoxiao, LUO Ziming, TANG Shaolong, WAN Siyuan
(Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: The influences of water cement ratio, carbon fiber volume ratio and porosity on compressive strength and flexural strength of pervious concrete were analyzed through strength test of carbon fiber permeable concrete. The results show that: the compressive strength of concrete decreases with the increase of water - cement ratio, and the flexural strength increases first and then decreases with the increase of water - cement ratio, and the relative optimal water - cement ratio is 0.25 - 0.30. The compressive and flexural strengths first increase and then decrease with the increase of the carbon fiber volume fraction, and reach a peak when the carbon fiber volume fraction is 1.5%. The compressive and flexural strengths decrease with the increase of porosity. It is recommended to select the porosity of 10% - 15% to prepare the permeable concrete.

Key words: Carbon fiber; Mechanical properties; Strength test; Permeable concrete

翻译:汪庆