

市政道路透水混凝土的配合比设计研究

钟远伟

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610000)

摘要:对于透水混凝土的配合比设计,传统方法的设计参数主要基于目标孔隙率和集料紧密堆积密度,存在强度设计缺乏依据、实际孔隙率偏离目标值较大、混凝土透水功能无法保证等缺陷。为此,引入参数浆体厚度与集料比表面积,提出一种新的配合比设计方法。该方法基于浆体均匀包裹模型与集料特性,浆体体积可借助集料的比表面积确定,继而得到配合比。研究表明,采用新方法设计的透水混凝土在不同的强度和集料特性要求下适应性较好,在透水性良好的同时满足力学性能的设计要求。

关键词:配合比设计;透水混凝土;市政道路;集料特性

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)05-0209-03

0 引言

在海绵城市建设中,透水混凝土作为一种透水功能良好的材料,在实践中得到了较为广泛的应用。混凝土实体骨架和分布其中的孔隙是透水混凝土的主要组成结构,其中的孔隙相互贯穿连通,形成蜂窝状的多孔结构,从而具备良好的透水透气能力。在城市公园、活动广场、人行道路面铺装时,作为轻交通路面材料,透水混凝土因具有吸声降噪、缓解热岛效应、调蓄积水、改善道路环境等功能,得到了广泛的应用^[1-3]。透水混凝土的应用符合国家可持续发展的要求,环境效益显著。它能有效改善城市道路积水,吸收行车噪声,在不同的自然环境和气候条件下均有良好的适用性。透水混凝土铺成的道路等效于天然草坪和自然土壤,有利于地表植物和微生物的生态环境营造。与此同时,满足了交通运输所需的硬化地面的使用功能要求,完美实现了可持续发展理念中的“与环境共生”这一原则^[4]。

在目前的研究中,透水混凝土配合比设计的指标主要为集料紧密堆积密度、浆体体积和目标孔隙率。其常用的方法包括球模型包裹法^[5]、质量法、体积法和比表面积法等。主要的控制指标为目标孔隙率。确定目标孔隙率后,便能确定浆体体积,继而可得出配合比的设计组成^[6]。在工程实践中,由于原材料的不同和胶凝材料用量计算的不科学,往往无法

对浆体数量进行精准受控,使得实际孔隙率较大地偏离目标孔隙率,难以满足透水混凝土功能的要求。另外,常用的配合比设计方法中,其强度的设计依据不足,虽透水性符合要求,但强度却难以保证^[7-8]。因此,为解决上述问题,引入了浆体的厚度与集料的比表面积这两个参数,并将其作为设计时的根据,提出了一种基于浆体均匀包裹模型与集料特性的透水混凝土配合比设计办法,使混凝土强度与透水性能之间的矛盾由浆体厚度的合理控制而得以解决,可为透水混凝土配合比的科学设计提供参考思路。

1 透水混凝土的配合比设计机理

1.1 均匀包裹的浆体模型

与常规的混凝土设计不同,透水混凝土的骨架为粗集料,细集料很少或基本没有,通过加入适量作为黏结剂的胶凝材料,使混凝土成型后具有相当数量的孔隙且相互连通,从而具有透水性能。如图1所示,作为本文所提出的一种新型的理念,浆体均匀包裹模型的原理主要如下:在集料中加入水和胶凝材料搅拌均匀,当水胶比和浆体厚度一定时,基于集料为紧密堆积的状态,则胶凝材料与水的加入量可由集料的用量及其比表面积计算得到。浆体厚度(浆体体积和紧密堆积孔隙率的差值)决定了混凝土的透水功能,即透水混凝土中孔隙所占体积随浆体厚度的增大而减小,继而透水性能也降低。集料与浆体的黏结力、孔隙率的大小(整体密实度)和集料强度决定了混凝土的力学性能。由此可知,混凝土的力学性能与浆体厚度之间也存在联系。

收稿日期: 2021-07-29

作者简介: 钟远伟(1990—),男,本科,工程师,主要从事道路桥梁设计工作。

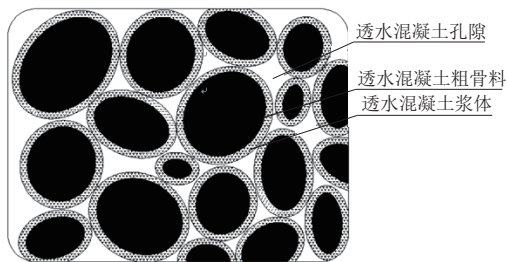


图1 基于浆体均匀包裹的透水混凝土模型

1.2 配合比设计原理

透水混凝土的孔隙率影响着其强度与透水性,而胶凝材料用量和集料紧密堆积孔隙率与孔隙率存在一定的关系。在保证透水性能的同时,使之具有较好的抗压强度,是在配合比设计过程中合理控制浆体数量的关键目标。本文通过混凝土集料的比表面积计算,基于比表面积配比设计与浆体均匀包裹模型,进而将混凝土中各组分用量通过所设定的浆体包裹厚度计算得到。同时,设定混凝土透水性和强度的控制参数为浆体厚度,从而确定最终的配合比。

1.3 控制参数的计算与确定

1.3.1 集料参数

集料的紧密堆积孔隙率一般根据规范《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52),通过计算相关参数(包括紧密堆积密度、颗粒级配、分计筛余、表观密度和堆积密度)而确定。集料粒径为1.18~2.36 mm时,比表面积因子为160 m²/kg。集料粒径所处范围为2.36~4.75 mm、4.75~10 mm、10~20 mm和20 mm以上时,相应的比表面积因子分别为80 m²/kg、40 m²/kg、20 m²/kg、10 m²/kg。

1.3.2 比表面积与集料用量

根据《透水水泥混凝土路面技术规程》(CJJ/T 135)规定,设 α 为集料用量修正系数(取值为0.98), ρ_g 为集料的紧密堆积密度(kg/m³),则单位体积透水混凝土中的集料用量 $m_g = \alpha \times \rho_g$ 。另设集料的分计筛余为 $\delta_i(\%)$, γ_i 为集料比表面积因子(m²/kg),则单位体积透水混凝土集料的总比表面积 S_g 可由下式计算得出:

$$S_g = \sum_{i=1} m_g \frac{\delta_i \gamma_i}{100} \quad (1)$$

1.3.3 浆体厚度确定

当混凝土浆体强度等级为C10时,浆体厚度取值为0.24~0.28 mm;浆体强度等级为C15时,浆体厚度取值为0.28~0.32 mm;浆体强度等级为C20时,浆体厚度取值为0.32~0.36 mm。

设浆体包裹厚度为 h_j ,单位体积透水混凝土集料

的比表面积为 S_g ,则 $h_j S_g / 1000$ 即单位体积透水混凝土浆体体积,记为 V_j 。

1.3.4 孔隙率检验

15%~25%之间的区域是浆体体积和集料紧密堆积孔隙率差值的合理区间,应不断调整浆体包裹厚度,使之符合上述区间的数值要求。

1.3.5 确定水、外加剂和胶凝材料的用量

设水的密度为 ρ_w ,水胶比为 $R_{w/c}$,胶凝材料密度为 ρ_c ,浆体用量修正系数为 β (一般为0.98),外加剂的掺量为 a ,则可由式(2)~式(4),分别计算得到水的用量 m_w 、胶凝材料的用量 m_c 和外加剂的用量 m_a 。

$$m_w = m_c \times R_{w/c} \quad (2)$$

$$m_a = m_c \cdot a \quad (3)$$

$$m_c = \frac{V_j}{\beta \left(\frac{1}{\rho_c} + \frac{R_{w/c}}{1000} \right)} \quad (4)$$

2 试验材料与方法

2.1 材料选择

表1为红狮牌水泥的性能测试结果,水泥强度等级为P.O 42.5。集料为单粒径碎石,粒径为4.75 mm。其粒径分布和性能测试见表2。

表1 水泥性能技术指标

项目	凝结时间		抗折强度 /MPa		抗压强度 /MPa		细度(负压筛法)
	初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d	细度
试验数据	165	255	6.4	8.7	28.4	46.5	7.5
标准	≥45 min	≤10 h	≥3.5	≥6.5	≥16.0	≥42.5	≤10

表2 集料性能技术指标和粒径分布

集料粒径	压碎值	表观密度 / (kg·m ⁻³)	堆积密度 / (kg·m ⁻³)	紧密堆积密度 / (kg·m ⁻³)	孔隙率 /%
4.75~10	16.1	2 720	1 550	1 630	40.1
粒径范围	>20	10~20	4.75~10	2.36~4.75	1.18~2.36
筛分 /%	0	1.41	96.25	0.97	0.28

2.2 配合比计算

基于浆体厚度取值范围与设计强度等级,取0.24~0.36 mm区间的浆体厚度进行配比设计,厚度级差为0.02 mm,编号依次为A-1~A-7。水胶比定为0.27,碎石为1 600 kg。根据上述计算步骤确定配比中各成分的材料量(见表3)。

2.3 试件养护与成型

本次试验统一采用人工插振的办法进行成型,以尽量避免成型方法不同对透水混凝土透水和力学

表 3 配合比设计组成

编号	强度等级	浆体厚度/mm	水/kg	外加剂/kg	水泥/kg
A-1	C10	0.24	70	4.23	265
A-2	C10	0.26	76	4.59	287
A-3	C15	0.28	82	4.94	309
A-4	C15	0.30	88	5.31	332
A-5	C15	0.32	94	5.66	354
A-6	C20	0.34	100	5.99	375
A-7	C20	0.36	106	6.36	398

性能产生的影响^[9-10]。按松铺系数 1.5 考虑,将一定质量的混凝土装入 150 mm² 的正方体模型中。装入时分 2 次进行,每次装入后均由外向内以顺时针插振 25 次。模型中混凝土装满后,再用平板振捣器将其表面整平压实成型,于 24 h 后再放入标养室中进行标养,至相应龄期后取出测试。

2.4 试验方法

将标养室中的立方体试块进行钻心取样,取样形状为圆柱体,尺寸为 $\phi 100 \times 50$ mm。利用相应的测量装置对透水系数进行测定。该测试装置在国内用于透水砖的透水系数测定。相应装置如图 2 所示。

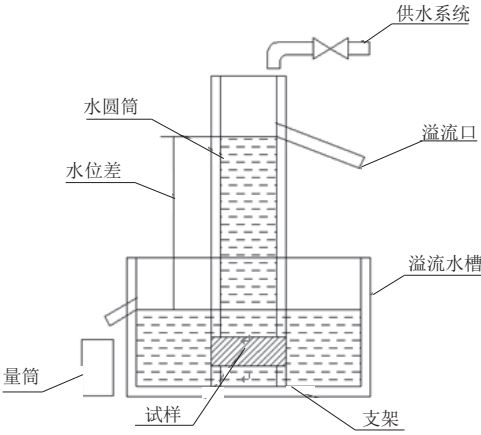


图 2 用于透水系数测定的试验装置

另外,试样的有效孔隙率可通过称重法进行测定。试样的有效孔隙率可按下式计算:

$$P=(m_2-m_1)/V_0 \times 100\%$$

式中: m_1 为试样干燥时的质量; m_2 为其在水中浸泡 24 h 后的质量; V_0 为试样体积。

3 试验结果分析

根据上文所述配合比和相应的养护方法,对成型试件的性能进行测试。试验可得浆体厚度与透水系数、有效孔隙率的关系如图 3 所示,混凝土浆体厚度与不同龄期抗压强度间的关系如图 4 所示。

由图 3 可知,有效孔隙率随浆体厚度的增加而

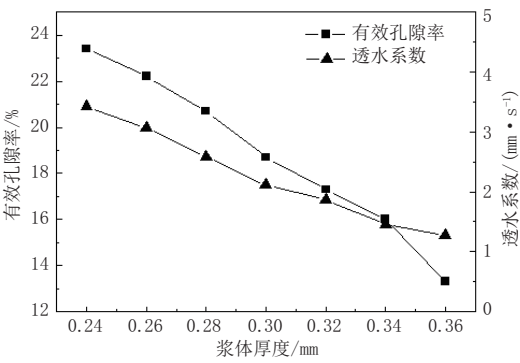


图 3 浆体厚度与透水系数、有效孔隙率的关系

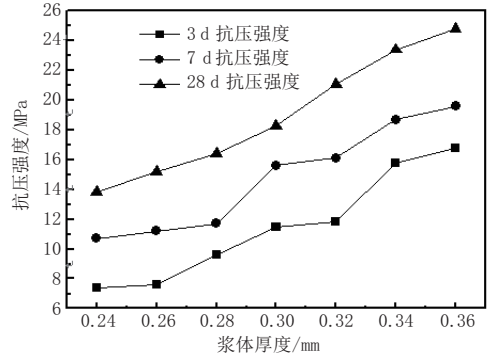


图 4 浆体厚度与抗压强度的关系

减少,进而透水系数减少。由图 4 可知,混凝土各龄期的抗压强度随浆体厚度的增大而增大。原因是混凝土中浆体体积会随着浆体厚度的增大而增大,集料在成型后为紧密堆积形态,多余的浆体使集料间的孔隙得以充填,使混凝土的密实度提升。与此同时,浆体与集料之间的接触面积也得以增大,减少了内部孔隙,使集料间由点接触而引起的应力趋于分散,从而增大了透水混凝土的抗压强度。

由试验结果可知,采用本次试验的配合比设计方法,透水混凝土的抗压强度在有效的浆体厚度取值范围内满足设计要求的强度等级。同时,其透水系数均超过 1 mm/s,满足现行透水混凝土标准的要求。

4 结 语

(1)基于浆体包裹厚度和集料比表面积的角度,为解决透水混凝土工作性能、透水性能与强度之间的矛盾问题,提出了一种新型的透水混凝土配合比设计办法,可避免在原材料改变和应用经验公式时,透水混凝土因过多或过少的浆体数量而出现封底情况,继而导致浆体与集料间黏结力不够而降低混凝土力学性能或者透水性能变差。

(2)利用本文所设计的配合比方法制备的透水混凝土透水系数符合要求,透水性能良好,且抗压强度满足设计要求,取得了理想的应用效果。

(下转第 231 页)

表 3 马鞍形断面结构轴力汇总表			单位:kN
部位	无超载作用轴力	超载作用轴力	
结构顶部	34.8	39	
结构底部	40.03	43.05	
拱肩	94.53	113.5	
腰部位置	109.6	118.9	
拱脚	99.81	110.5	

规律,分析了不同断面形式的波纹钢管廊结构受围岩压力作用下结构最不利受力位置,最后探讨了超载作用对波纹钢管廊结构受力性能的影响。主要研究结论如下:

(1)围岩静压作用下,圆形断面和马鞍形断面的波纹钢管廊结构腰部位置应力集中较为明显;矩形断面波纹钢综合管廊结构两侧应力相对较小,关键节点位置应力值相对较大。

(2)围岩静压作用下,圆形断面和马鞍形断面的波纹钢管廊结构变形方式为横向扩张,其中马鞍形断面横向变形相对较大。矩形断面管廊结构变形量最大值主要位于关键节点位置,即矩形 4 个角分别向两侧扩张,而管廊两侧横向变形相对较小。

不同断面形式的管廊结构底部均向内收缩变形,其中马鞍形断面结构变形相对较大,圆形断面结构变形最小。管廊结构竖向变形量比横向变形量大,若结构变形过大而产生渗漏水,严重则会影响结构稳定性、丧失结构承载能力。因此,在实际工程中,应关注波纹钢管廊结构变形量,尤其是结构竖向变形。

(3)围岩静压作用下,圆形断面波纹钢管廊轴力

值最大,矩形断面波纹钢管廊轴力值最小。圆形断面和马鞍形断面的波纹钢管廊结构轴力最大值位于结构腰部位置,而矩形断面波纹钢管廊结构关键节点位置受力最大。因此,在矩形断面管廊结构设计时,应重点关注结构 4 个角处的受力。

(4)矩形断面波纹钢综合管廊结构受力性能良好,且该断面内部空间利用率相对较高,适用于道路狭窄并需敷设综合管廊的情况。

(5)超载作用对波纹钢管廊结构的受力变形特征有一定程度影响,因此,在波纹钢综合管廊结构设计时,应充分考虑超载作用对结构的影响。

参考文献:

[1] 刘文平.波纹钢管廊受力变形特性研究[J].山西建筑,2019,45(22):62-63.

[2] 米军,罗玉林.浅析城市综合管廊截面类型[J].江西建材,2017(21):48-52.

[3] 赵苗.复杂荷载作用下综合管廊波纹钢结构的极限承载力[D].济南:山东建筑大学,2019.

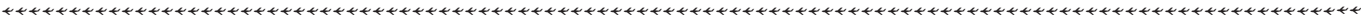
[4] 梁养辉,李祝龙,胡滨,等.波纹钢结构综合管廊受力特征研究[J].公路交通科技(应用技术版),2019(1):183-187.

[5] 孙海波,刘鹏飞,刘保东,等.不同断面线形波纹钢管涵结构力学性能研究[J].公路交通科技,2015,32(10):75-81.

[6] 詹蓉.装配式波纹钢电缆隧道应用研究[J].四川建材,2019,45(7):152-153.

[7] 刘刚.高填方路堤下钢波纹管涵洞受力与变形特性研究[D].西安:长安大学,2012.

[8] 周剑敏.矩形波纹钢地下综合管廊结构受力特征分析[J].城市道桥与防洪,2020(7):306-310,313.



(上接第 211 页)

参考文献:

[1] 王波,李成.透水性铺装与城市生态及物理环境[J].工业建筑,2002,32(12):29-31.

[2] 舒丽琴,江秀英,孔梅晴.透水混凝土的性能及应用综述[J].科学咨询,2017(23):54-55.

[3] 张贤超,尹健,池漪.透水混凝土性能研究综述[J].混凝土,2010(12):54-57.

[4] 宋中南,石云兴.透水混凝土及其应用技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[5] 李彦坤,胡小波,陈清己,等.球模型包裹法设计透水混凝土配合比[J].混凝土,2008(9):29-32.

[6] 张松涛,贾欣悦,宋卓,等.无砂再生透水混凝土配合比设计[J].混凝土与水泥制品,2016(12):6-12.

[7] NGUYEN D H, SEBAIBI N, BOUTOUIL M, et al. A modified method for the design of pervious concrete mix [J].Construction and Build Materials,2014,73:271-282.

[8] 张巨松,张添华.影响透水混凝土强度的因素探讨[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2006,22(5):759-763.

[9] 吴冬,刘霞,吴小强,等.成型方式和砂率对透水混凝土性能的影响[J].混凝土,2009(5):105-107.

[10] 张朝辉,杨江金,王沁芳,等.透水混凝土制备工艺研究[J].新型建筑材料,2008,35(9):1-4.