

植生型无砂多孔生态混凝土性能评述

李政启, 相 阳, 李家明, 李 坛

(同济大学建筑工程系 上海 200092)

摘要: 植生型无砂多孔生态混凝土是一种绿色环保的建筑材料,体现了人与自然和谐相处的思想。对此类混凝土的研究意义与研究现状进行了讨论,并介绍了其物理力学性能、植生性能和耐久性能。结合已有试验研究成果,对上述性能指标的影响因素进行了分析与评价。提出了此类混凝土未来需要解决的问题及其发展方向。

关键词: 无砂多孔生态混凝土; 物理力学性能; 植生性能; 碱性; 耐久性

中图分类号: TU528 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2012)04-0050-04

Properties of Porous Eco-concrete for Plant-growing

LI Zheng-qi, XIANG Yang, LI Jia-ming, LI Tan

(1 Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Porous Eco-concrete is an innovative kind of ecological building materials. The significance and current research situations of this kind of concrete are introduced. Based on experimental studies that have been conducted, the influence factors of its mechanical properties, plant-growing properties and durability are analyzed. Some unsolved problems are also presented to suggest the future research orientations.

Key words: porous eco-concrete; physical and mechanical properties; plants-growing; alkali features; durability

0 引言

植生型无砂多孔生态混凝土是由粗骨料、水、胶凝材料和外加剂^[1]经拌和而成的一种新型生态混凝土,它透气、透水性好,质轻且具有一定强度。由于此类混凝土不含细骨料,粗骨料由胶凝浆体互相粘结,从而形成了混凝土的多孔结构。通过对孔隙内的碱环境进行改造,并在其孔隙中填充土壤和肥料后,植物根系可在孔隙中长期生长,成为植生型无砂多孔生态混凝土。由于该类混凝土具有良好的植物相容性,故适用高速公路护坡及中央隔离带、水边护坡、楼顶和停车场等工程中^[2]。较之传统的普通混凝土工程破坏了原有植物生存空间,植生型无砂多孔生态混凝土在一些工程中的应用既可以满足城市建设需要,又具有美化环境、减少环境负荷的效果,应用前景广阔。本文就该类生态混凝土的各项性能指标和研究前景进行了综述。

1 研究现状

目前,国内外学者已在植生型无砂多孔生态混凝土的物理力学性能、植生性能和耐久性能方面进行了许多卓有成效的研究^[1-4]。日本开始相关研究较早,已形成了较为成熟的植生型多孔生态混凝土制备及施工工艺。美国、日本和欧洲等国家和地区都有许多

收稿日期 2011-12-23; 修回日期 2011-12-30

植生型多孔生态混凝土的工程应用实例^[3-4]。我国在这一领域的研究起步较晚,但已取得较大发展,并已开始应用于工程实践。

1.1 物理力学性能

1.1.1 全孔隙率与透水系数

无砂多孔生态混凝土的植生性及透水性都源自于其内部的孔隙。这些孔隙包括连通孔隙、半连通孔隙以及封闭孔隙三部分。全孔隙率是上述3种孔隙体积占混凝土总体积的百分比,简称孔隙率。3种孔隙中的连通孔隙和半连通孔隙是混凝土具有透水性的主要原因。

通常认为孔隙率和平均孔隙直径是影响此类混凝土植生性能的主要因素,其孔隙率往往需达到20%~40%,平均孔径需2~3 mm^[5-6]。文献[7]和[8]分别用粒径在5~20 mm和5~16 mm的骨料配制的多孔混凝土孔隙率均大于20%。

胡勇有^[1]等认为平均孔径对植生性能的影响表现在两方面:①孔径太小,其间填充的营养成分有限,植物并不能通过根系获取足够的营养物质,导致根系不能进一步生长;②孔径太小,填充的营养物质受水泥浆碱度释放的影响较大,导致pH值过高,不利于植物正常生长。同时他也指出,平均孔径大,虽然能够提供植物较大的空间,但孔隙的保水性差。他们的研究发

现,在平均孔径为 3.7 mm 和 3.2 mm 的生态混凝土中生长的白喜草的株高和根系长度是平均孔径为 1.8 mm 中的两倍多,证明了多孔混凝土平均孔径对其植生性能的重要影响。

透水性决定了水在生态混凝土中流动的可能性,继而影响到植物根系能否获得足够的水分以维持生命。土壤的透水系系数在 10^{-6} cm/s 左右。就目前无砂多孔混凝土透水性的研究情况而言,使用粒径 5~40 mm 内的骨料的混凝土透水系系数就可以大于 1 cm/s^[7-8],由此可见此类混凝土良好的透水性。

影响孔隙率和透水系系数的因素包括骨料粒径、骨料级配、骨胶比、水灰比等。骨料粒径越小或骨料级配越好,孔隙率、平均孔隙直径和透水系系数越小。配制生态混凝土时采用粒径范围在 5~40 mm 内的单粒级骨料可以满足孔隙及透水性要求;随骨胶比增大,混凝土孔隙率和透水系系数增大,这是因为随着骨料间胶凝材料的减少,骨料间的孔隙增大,从而孔隙率和透水系系数增大,一般可选骨胶比在 5~8 的范围内^[1,7];不同研究者关于水灰比对孔隙率和透水系系数的影响的研究得出了不同的结论,张蔚等^[7]从水泥水化程度的角度分析其试验结果,认为随水灰比的减小,孔隙率和透水系系数增大,而徐飞等^[8]的研究却得出了相反的结论,认为随水灰比的增大,孔隙率和透水系系数增大。这一问题有待于进一步研究。

1.1.2 混凝土强度

反映混凝土力学性能的主要指标是混凝土强度。无砂多孔生态混凝土强度的研究主要是针对其抗压、抗折强度和劈裂抗拉强度。另外,关于双轴抗压强度的研究也已出现。从混凝土结构性的角度出发,一般要求植生型多孔生态混凝土具有大于 10 MPa 的抗压强度^[3]。在文献^[9]中介绍的水利护坡工程则要求生态混凝土具有 1.2 MPa 的抗折强度和 0.5 MPa 的劈裂抗拉强度。文献^[10]和^[11]使用粒径 10~20 mm 的骨料配制的混凝土抗压、抗折强度分别大于 10 MPa 和 1.5 MPa。文献^[9]使用粒径 20~40 mm 的骨料配制的混凝土满足其工程要求的抗折、劈裂抗拉强度,但抗压强度只有 5 MPa 左右。在无砂多孔混凝土双轴抗压强度方面,魏林春等^[12]对多孔混凝土双轴抗压强度的研究发现,同条件下生态混凝土双向抗压强度是单向抗压强度的 1.1~1.5 倍。

无砂多孔生态混凝土抗折、劈裂抗拉强度都有随其抗压强度的增长而增长的趋势。影响无砂多孔生态混凝土强度的因素包括骨料粒径、骨料级配、骨胶比、水灰比和胶凝材料掺合料等。骨料粒径越小或骨料级配越好,混凝土强度越高,单一级配配制的多孔混凝土抗压强度小于连续级配配制的多孔混凝土,这是因为随骨料间接触点的增加,有利于强度提高;骨胶比越大,胶凝材料量减少,骨料间黏结强度减小,混凝土

强度减小^[7,9],一般可取 5~8,较小的水灰比使胶结浆本身的强度增加,混凝土强度也因此提高^[9],其水灰比一般不超过 0.4;高建明等^[12]在胶凝材料掺合料对强度的影响方面进行了试验研究,认为掺合料对强度的提高作用从高到低依次排序为硅粉>矿渣微粉>矿渣微粉+粉煤灰>不掺>粉煤灰。一些特殊外加剂可以显著提高混凝土强度,吴智仁等^[13]在混凝土中添加了名为 SR-3 的添加剂,使得混凝土抗压强度达到 20~22 MPa。此外影响混凝土强度的因素还包括龄期、骨料强度、施工工艺和养护条件等。

笔者所在课题组对无砂多孔生态混凝土抗折与抗压强度关系的研究表明,此类混凝土 28 d 抗压强度 f_c 与抗折强度 f_t 的关系可取为 $f_c=7.08f_t$,见图 1。

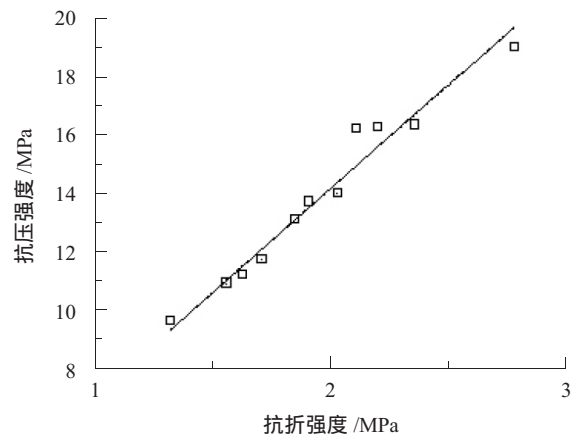


图 1 多孔混凝土抗压与抗折强度关系曲线

Fig.1 Relation between compressive strength and flexural strength of porous concrete

研究认为,无砂多孔生态混凝土孔隙率与混凝土强度存在相关性,一些描述孔隙率与混凝土强度的半经验公式也已提出。笔者所在课题组的研究认为线性曲线可以很好地表达生态混凝土抗压、抗折强度随孔隙率增大而减小的变化规律,见图 2。

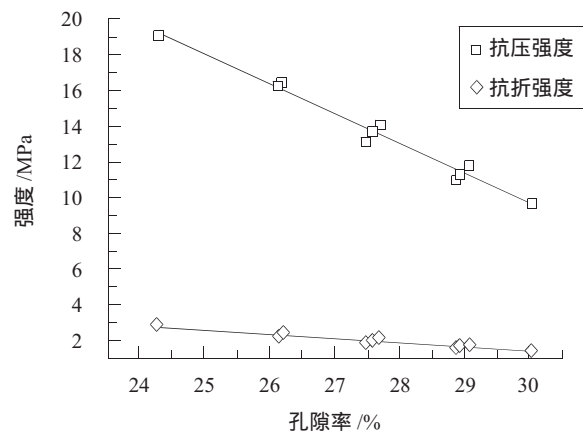


图 2 混凝土抗压、抗折强度随孔隙率变化关系

Fig.2 Relation between compressive strength and porosity, flexural strength and porosity

无砂多孔生态混凝土强度与孔隙率呈矛盾关系。控制无砂多孔混凝土的骨胶比、骨料级配和水灰比等

在一定范围内可以同时获得较大的孔隙率和强度。高标号水泥或特殊外加剂的使用虽然能够进一步提升混凝土物理力学性能,但其较高的成本不利于此类混凝土的推广应用。

1.2 植生性能

植物根系在混凝土孔隙中生长,孔隙所能提供的生存空间和孔隙内的化学特性直接决定了其植生性能。一方面,孔隙内需能储存足够的养料供植物生长,植物也需要一定的空间发展其根系;另一方面,植物只有在特定的酸碱性范围内的环境中才能存活,须控制混凝土孔隙内的pH值不大于10。

混凝土中水泥水化产生具有碱性的水化物,例如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,普通混凝土pH值高达12~13,所以需设法降低混凝土碱性以实现植物生长。

从化学方法角度讲,水泥用量越多,混凝土碱性越强。文献[10]研究了分别向胶凝材料中掺入粉煤灰、矿渣微粉和硅粉对混凝土碱性的影响,试验结果表明掺入硅粉的降碱效果最为明显,试验中配置的掺入5%硅灰的混凝土在28d龄期时的pH值为9.8。由于多孔混凝土内部与空气接触,空气中的 CO_2 等气体会与混凝土中碱性物质反应,多孔混凝土孔隙碱性会随时间增长而降低,掺入5%硅灰的混凝土在90d龄期时的pH值为9.0。文献[13]在混凝土中添加了名为SR-3的添加剂,将混凝土7d龄期时的pH值控制在10左右,28d时满足植生碱性条件。喷洒或浸泡 FeSO_4 溶液可以中和混凝土中的碱性物质^[6,11],文献[11]中研究了浸泡 FeSO_4 溶液的作用,发现不浸泡 FeSO_4 溶液的混凝土上种植的高羊茅30d后停止生长,而浸泡浸泡 FeSO_4 溶液的混凝土上高羊茅90d时平均株高250mm,且长势良好,根系已扎入混凝土下的垫层土壤中。胡春明等^[14]研究了萘系高效减水剂对多孔混凝土碱性的影响,随高效减水剂掺量的提高,多孔混凝土孔隙内pH值下降,见图3。

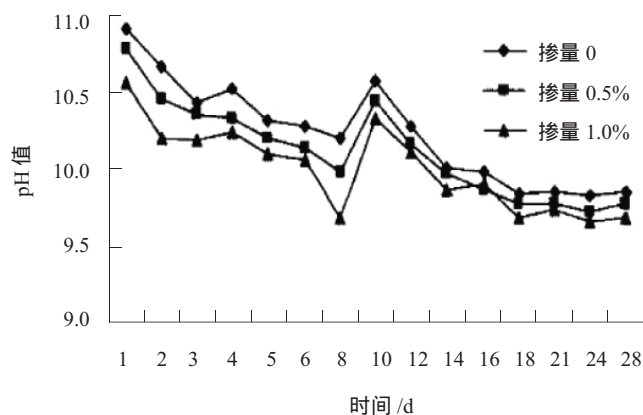


图3 高效减水剂对多孔混凝土孔隙碱性影响

Fig.3 Alkali resistance effect of water reducing agent in concrete

从物理方法角度讲,阻隔碱性物质向孔隙中释放

可以降低混凝土碱性。胡春明等^[14]提出的腊封方法可以将孔隙碱环境pH值降低0.5~1,该方法是将生态混凝土孔隙内水分烘干后放入液态石蜡中浸泡,取出混凝土待石蜡冷却后,混凝土孔隙内壁会附着一层薄薄的石蜡,达到阻隔碱性物质的目的。该方法可将混凝土孔隙碱环境pH值(28d时)降到9左右。

在研究降低多孔混凝土碱性的同时,相关研究者也在寻找适宜在混凝土孔隙中生长的耐碱且生命力强的植被品种。白喜草、狗牙根、高羊茅等成为许多植生性能研究中使用的植物。

1.3 耐久性能

植生型无砂多孔生态混凝土常处于自然条件下工作。相比于普通混凝土,该类混凝土的多孔结构使得其更容易受到水、空气和温度等外部自然因素的影响。风化、碳化和冻融等对生态混凝土的作用比普通混凝土更为明显。此外,酸雨、氯离子侵蚀和硫酸盐作用等也会对生态混凝土的耐久性造成影响。

1.3.1 风化与碳化作用

无砂多孔生态混凝土透气、透水性好,水和空气可以在其内部孔隙中流通。风化作用主要指由于水流冲刷引起的混凝土中离子流失和水化物分解的现象^[13]。风化作用会降低骨料间胶凝材料的固结作用,从而破坏混凝土结构。碳化作用是指大气中的 CO_2 或某些酸性气体与混凝土中的碱性水化物起反应。碳化作用可以降低混凝土碱性,对其植生性能有益,但同时碳化会引起胶凝材料收缩、产生微裂纹,对强度不利。刘斯凤^[15]关于粉煤灰、矿粉和水灰比对生态混凝土抗碳化性能影响的研究表明,生态混凝土碳化深度随粉煤灰或矿粉掺量的增加而增大,相同掺量下对混凝土抗碳化能力的降低作用由大到小依次为粉煤灰>矿粉粉煤灰混合物>矿粉。与普通混凝土类似。水灰比越小,混凝土抗碳化能力越好。当粉煤灰掺量小于30%或矿粉掺量小于50%时,水灰比对混凝土抗碳化能力起控制作用,故将30%和50%建议分别作为粉煤灰和矿粉的最大掺入比^[15]。

1.3.2 冻融作用

多孔混凝土中的连通孔隙与半连通孔隙中会滞留一部分水,在低温环境下的混凝土会受到孔隙中水的冻胀压力,这一现象在水边护坡等工程中较为普遍。连续的冻融循环使混凝土内部的损伤不断扩展,导致混凝土内部表面开裂、脱落,弹性模量、强度等力学性能下降。潘志峰等^[16]对植生型多孔混凝土抗冻性的研究表明,粉煤灰不利于多孔混凝土的抗冻性能,随粉煤灰掺量的增加,多孔混凝土的抗冻性有下降的趋势,而矿粉在一定掺量范围内对多孔混凝土抗冻性的改善效果随掺量的增加而增强,其原因在于矿粉的微集料作用降低胶凝材料的孔隙率,提高了胶结浆体的抗冻性能。

2 需解决的问题

植生型无砂多孔生态混凝土的性能研究仍存在以下问题。

2.1 生产成本低

现阶段有诸多因素使得无砂多孔生态混凝土生产成本高于普通混凝土,阻碍了其在实际工程中的推广使用。如上文所述,混凝土强度随孔隙率的增大而降低,为了得到同时具有较高孔隙率和强度的混凝土,往往需要使用高标号水泥或特殊外加剂等成本较高的材料;在降低混凝土碱性的研究中,SR-3 添加剂、腊封法和 FeSO_4 等降碱方法都提高了此类混凝土的生产成本。只有找到一种低成本高收益的生产方法才能使此类混凝土真正地成为“生态”混凝土。

2.2 施工工艺

不同研究者对于植生型无砂多孔生态混凝土的制备工艺存在较大差别,从配合比设计到混凝土搅拌顺序,再到试件成型方法都存在很大不同。笔者所在课题组的研究也说明,无砂多孔生态混凝土施工工艺的不同对其性能有很大影响,由施工工艺的差别造成的各个研究之间的不可比性难以衡量。对于不同工程,应当找到与其相适应的最合理的施工工艺。

2.3 其他力学性能研究较少

植生型无砂多孔生态混凝土力学性能的研究主要集中在抗压、抗折强度、劈裂抗拉强度^[9]和双轴抗压强度^[12]也有研究,但在微观、细观力学性能和双轴、三轴拉压强度方面少有涉及^[6],关于其疲劳、损伤性能的研究有待开展。

3 结语

植生型无砂多孔生态混凝土应用于工程建设既满足了城市发展的需要,又具有美化环境、减少环境负荷的效果,体现了人与自然和谐相处的思想。关于此类混凝土物理力学性能、植生性能和耐久性能的深入研究是其推广应用的重要影响因素。西方发达国家在这一领域已经形成了较为成熟和系统的设计、生产方法。我国开展研究较晚,但已取得较大发展,将其应用于实际工程的案例越来越多,发达国家的经验教训值得我们学习与借鉴。总之,植生型无砂多孔生态混凝土对保护自然环境、维持生态平衡有积极意义,是

未来混凝土材料发展的重要方向。

参考文献:

- [1]胡勇有,胡春明,谢磊,等.植生型生态混凝土孔隙状态对植物生长的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版),2006,34(12):5-9.
- [2]张开猛,蒋友新,谭克锋.生态混凝土研究现状及展望[J].四川建筑科学研究,2008,34(1):152-155.
- [3]ポータスコンクリートの製造とこれからがわかる本[M].日本:株式会社セメントジセーナル社,2001.6
- [4]竹内意正,親林和生.植生型エココンクリートの実施例[J].コンクリートの工学,1998,36(3):32-36.
- [5]朱航征.多孔混凝土(POC)的特性与生态环保技术[J].建筑技术开发,2002,29(2):67-69.
- [6]刘斯凤,刘黎,余新洲,等.植被型生态混凝土的研究现状及趋势[J].三峡大学学报(自然科学版),2009,31(3):52-55.
- [7]张蔚,陶新明,黄圣铨.灰骨比对绿色生态混凝土抗压强度及空隙率的影响分析[J].福建建筑,2010(7):137-139.
- [8]徐飞,肖党旗.无砂多孔混凝土配合比的研究[J].水利与建筑工程学报,2005,3(4):24-26.
- [9]李红彦.无砂大孔生态混凝土配合比及力学性能研究[J].广东水利水电,2008(1):54-55.
- [10]高建明,吉伯海,吴春笃,等.植生型多孔混凝土性能的试验[J].江苏大学学报(自然科学版),2005,26(4):345-349.
- [11]许燕莲,李荣炜,谭学军,等.植被型多孔混凝土的制备与植生试验[J].新型建筑材料,2009(2):16-20.
- [12]魏林春,樊建超,罗仁安,等.绿化生态混凝土双向力学性能实验研究[J].上海大学学报(自然科学版),2006,12(6):647-650.
- [13]吴智仁,陆春华,刘桂荣,等.现浇护堤植生型生态混凝土性能指标及耐久性能[J].江苏大学学报(自然科学版),2005,26(5):380-383.
- [14]胡春明,胡勇有,魏清伟,等.植生型生态混凝土孔隙碱性水环境改善的研究[J].混凝土与水泥制品,2006(3):8-10.
- [15]刘斯凤.生态混凝土的抗碳化效应及其机理研究[J].三峡大学学报(自然科学版),2003,25(1):18-21.
- [16]潘志峰,高建明,许国东,等.植生型多孔混凝土抗冻性能试验研究[J].混凝土与水泥制品,2007(1):11-13.

作者简介:李政启(1987)男,内蒙古乌海人,硕士研究生(0920020259@tongji.edu.cn)。

(上接第 46 页)参考文献:

- [1]牛志荣,刘红飞.建筑墙体泡沫玻璃保温系统工程特性探讨[J].建筑节能,2009,(49):47-51.
- [2]Zhirong Niu,Houren Xiong,Zongming Yu, et al. Monitoring and Analysis on Temperature for External Foam Glass Thermal Insulating System on Walls under Weathering Test [J]. Applied Mechanics and Materials, 2011(71-78):3918-3924.
- [3]浙江省工程建设标准《泡沫玻璃建筑外墙外保温系统技术规程》[S]. 2009.

- [4]陈宇腾,刘文春,李升宇.外墙外保温体系大型耐候性试验及热工检测技术研究[J].墙材革新与建筑节能,2006(2):43-45.
- [5]项道阳.薄抹灰外墙外保温系统耐候性试验研究[D].北京:北京工业大学,2008.
- [6]罗义英,牛志荣,杨学宾,等.泡沫玻璃外墙外保温系统的热物性参数研究[J].新型建筑材料,2011,38(5):50-62.

作者简介:周志超(1987)男,浙江嘉兴人,硕士研究生,建筑与土木工程专业(690939063@qq.com)。