

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.03.012

王玉军, 翟爱良, 赵佳, 等. 再生砖骨料植生混凝土植生试验研究[J]. 水利水电工程学报, 2016(3): 90-95. (WANG Yu-jun, ZHAI Ai-liang, ZHAO Jia, et al. Experimental studies on planting tests of recycled brick aggregate vegetation-type concrete [J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(3): 90-95.)

再生砖骨料植生混凝土植生试验研究

王玉军¹, 翟爱良¹, 赵佳¹, 吴明明¹, 高涛²

(1. 山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学 信息科学与工程学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 为了研究再生砖骨料植生混凝土的植物生长特性,在前期透水性和强度性能研究基础上,进行植生试验。植生试验采用上置式与中置式结合的方式,分别采用清水浸泡、 FeSO_4 溶液处理进行降碱,在不同孔隙率的混凝土上种植狗牙根,观察比较植生效果,确定进一步优化的适于再生砖骨料植生混凝土植草绿化的条件,以便应用于不同工程环境。试验发现,不同植生条件得到不同的植生效果,其工程可行性还有待于实际工程检验。

关键词: 再生砖骨料植生混凝土; 植生试验; 降碱; 植生效果

中图分类号: TU528.041 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2016)03-0090-06

再生砖骨料植生混凝土是采用处理过的废弃砖块作为骨料,制作适于植物生长的具有“沙琪玛”骨架的多孔混凝土,将其应用于护坡、护岸工程中,既可以减轻环境负荷又可以调节气候、美化环境。该混凝土技术应用的难点是如何保证植物正常生长。本文通过在降碱处理后的不同孔隙率再生砖骨料植生混凝土上进行植草试验,探索简单的降碱处理方式和孔隙率对再生砖骨料植生混凝土上植物生长效果的影响,研究分析影响植物生长的其他因素。

1 再生砖骨料植生混凝土的组成及改造

再生砖骨料植生混凝土是由强化处理后的疏松多孔烧结砖骨料通过水泥净浆粘结形成,内部充斥较多均匀连续的孔洞,具有“沙琪玛”骨架的多孔混凝土^[1]。骨架制作养护完成后,在不影响混凝土强度的原则下对骨架孔隙内部碱性环境实施降碱改造措施。在再生砖骨料植生混凝土连续孔隙中填充满足植物生长的具有营养成分的种植基质,种植基质含有土壤、肥料、具有保水性和透气性的木屑、蛭石等。基层处理完成后,在表面覆盖或在底部铺盖厚 100 mm 左右的土层,播入植物种子直至土层中养护生长。再生砖骨料植生混凝土结构机理如图 1 所示。

多孔混凝土孔隙内部碱性环境的改造是技术的核

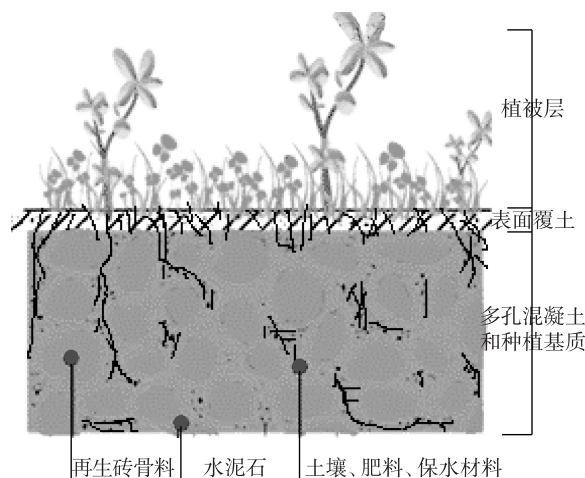


图1 再生砖骨料植生混凝土结构示意图

Fig. 1 Structure of recycled brick aggregate vegetation-type concrete

收稿日期: 2015-07-10

基金项目: 国家科技支撑计划课题资助项目(2014BAL04B05); 山东省科技发展计划资助项目(2013GNC11402)

作者简介: 王玉军(1990—),女,山东临沂人,硕士研究生,主要从事结构工程鉴定与加固研究。

E-mail: gwangyujun@163.com

心。植物生长所需的 pH 值为 3.5~9.5,而由于再生砖骨料植生混凝土采用再生砖骨料和普通硅酸盐水泥,混凝土成型后孔隙内部 pH 值为 12~13^[2]。显然,该环境不能满足植物生长,因此在植草前或植物生长过程中需对再生砖骨料植生混凝土孔隙内部的碱性环境进行改善。

国内外很多学者已经在降碱方面取得了一定成果,多孔混凝土内部孔隙降碱主要从以下 3 方面进行^[3]:①选择偏酸性或低碱材料,比如胶结材料中掺入矿物掺合料与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 进行反应,降低碱度,或者采用低碱水泥等;②采用偏酸性种植基质或添加弱酸性物质对碱性环境进行中和,比如使用弱酸性土壤,但随着混凝土内部碱性物质渗出,使得土壤碱性增加,因此需要喷洒或浸泡 FeSO_4 溶液;③对孔隙表面进行覆盖,隔绝碱性物质由混凝土内部释放出来,比如采用蜡封、环氧树脂处理多孔混凝土表面或在混凝土成型后喷洒永凝液阻碱等措施。各类降碱方法详见文献[4]。本试验在胶结材料中掺入 10% 的粉煤灰,种植基质中也掺入一定量的粉煤灰,对成型后的试块分别用清水和 FeSO_4 溶液进行浸泡。另外,成型处理后的多孔混凝土置于空气中一段时间,等发生一定的碳化后再进行植草处理。

2 再生砖骨料植生混凝土植物种植特点

植物生长所需的必要条件包括营养成分、水分、温度、光照、空气和酸碱度等。由于植物种植在多孔混凝土上,混凝土的孔隙大小也对植物生长有一定影响,在保证强度满足工程要求的前提下应当尽量提高孔隙率,通过前期试验,要满足不低于工程需要的 6 MPa 强度,需保证孔隙率不大于 30%。

根据种子或植物种植的位置不同,文献[5]提出 3 种植植模式,即上置式构造、中置式构造、下置式构造。上置式构造是将植物的种子种植在多孔混凝土上方铺的一层土上,植物根系穿过孔隙内部基质长于混凝土底部土层中,该模式下植物成活率高,生长快,受混凝土内部环境影响小;中置式构造是将种子拌合在土浆中填充在混凝土内部,植物发芽生根后长于混凝土底部土层中,该模式下植物成活率高,生长快,但种子发芽受孔隙环境影响大;下置式构造是将种子种植在浇筑混凝土前在混凝土底部预铺的一层土中,种子发芽后茎叶穿过混凝土连续孔隙后覆盖在混凝土表面,该模式下植物成活率低,绿化效果慢,对植物种类要求高,但是施工简单。

3 再生砖骨料植生混凝土植生试验准备

3.1 植生条件选择

3.1.1 植物种类 再生砖骨料植生混凝土能否用于实际工程满足绿化要求的关键是根据具体条件和植物自身特点选择合适的植物种类。植物种类的选择应当遵循适宜气候、水分、pH 值等条件,抗逆性、抗碱性强,根系发达且生长迅速,绿化效果好等原则,植物种类的具体选择原则参见文献[6-7]。常见的绿化植物有狗牙根、高羊茅、黑麦草等。本试验根据试验条件选择花卉市场购买的狗牙根进行种植。

3.1.2 种植模式 根据试验条件和各模式的优缺点选择上置式和中置式结合的模式,即将植物的一部分种子种植在多孔混凝土上方铺的一层土上,将另一部分种子拌合在土浆中填充在混凝土内部,植物发芽生根后根系穿过孔隙内部基质长于混凝土底部土层中,该模式结合了中置式和上置式两种模式的优点,植物成活率高,生长快,受混凝土内部环境影响小等。

3.1.3 种植基质 根据种植模式种植基质主要分为两部分:一部分配制成营养土浆灌入混凝土孔隙内部,另一部分覆盖在混凝土表面。种植基质主要为植物种子萌芽和根系生长提供介质和养分,因此要含有相应的物质条件,包括营养条件和保水条件等。同时,由于植生混凝土主要用于环境绿化和边坡防护,因此要满足抗雨水冲刷,保水性、吸水性、保肥性好,易于填充,经济美观等条件。

植物种植基质有很多,如天然土壤、粉煤灰、蛭石、植物纤维和木屑等^[6]。本试验选择天然土壤掺入一定粉煤灰、植物纤维和木屑。天然土壤能为植物生长提供各种元素,粉煤灰与土壤混合后可以改善土壤透气性,调节温度和碱性,作为养分载体吸附养分和游离水分,植物纤维和木屑腐烂、发酵后形成腐殖质土,使得

土壤既肥沃又保水,一定程度上调节酸碱度^[8]。本试验肥料选择花卉市场购买的明星牌缓释肥,有效成分含氮、钾,主要促进根系生长,增强植物的抗逆性。

3.2 再生砖骨料植生混凝土试块制备和试验设计

试验选用山东省泰安市财源大街某砖结构房屋拆除产生的废弃砖块。废弃砖块经过人工破碎、多次筛分分级以及强化处理后取得粒径为 13.5~16.5 mm 的再生砖骨料。强化处理措施采用两次水泥砂浆包裹的方法提高骨料强度,改善表面状况,同时提高其稳定性,降低砖瓦骨料内部裂缝的影响,提高其使用性能。试验配合比设计采用饱和骨料体积法,即胶结材料浆体体积+骨料体积+目标孔隙体积=1 m³,具体计算过程见文献^[7]。各组配合比见表 1。

表 1 不同目标空隙率的配合比

Tab. 1 Mixture proportion of different design porosities

编号	目标孔隙率/%	水灰比	试块规格	水/(kg·m ⁻³)	水泥/(kg·m ⁻³)	粗骨料/(kg·m ⁻³)
A	28	0.32	100 mm×100 mm×100 mm	116.1	362.5	1 090.7
B	28	0.32	100 mm×100 mm×100 mm	116.1	362.5	1 090.7
C ₁	24	0.32	100 mm×500 mm×500 mm	135.7	424.0	1 090.7
C ₂	26	0.32	100 mm×500 mm×500 mm	125.8	393.3	1 090.7
C ₃	28	0.32	100 mm×500 mm×500 mm	116.1	362.5	1 090.7
C ₄	30	0.32	100 mm×500 mm×500 mm	106.1	331.7	1 090.7
C ₅	32	0.32	100 mm×500 mm×500 mm	96.3	301.0	1 090.7

在搅拌方法上采用人工水泥浆裹石法,先将水泥与水搅拌均匀成水泥净浆,然后与浸泡并晾干至饱和面干状态的再生砖骨料混合搅拌均匀,人工振捣入模,入模之后进标养室养护 48 h 拆模。具体的混凝土成型过程和植草步骤参考文献^[8]和^[9]。

A、B 两组放在浸有溶液的容器内,用来比较清水浸泡和 FeSO₄溶液浸泡两种降碱方法对植生效果的影响,C 组用以比较目标孔隙率对植生效果的影响。B、C₃组用以比较室内环境与室外环境对植生效果的影响,即温度、光照等自然因素对植生效果的影响。此外,将 C 组配合比制备 100 mm×100 mm×100 mm 的试块,测试有效孔隙率和抗压强度,用来分析有效孔隙率对植生效果影响机理。

4 再生砖骨料植生混凝土植生试验结果分析

4.1 植生效果分析

经过一段时间的养护和管理,观察、对比各组狗牙根草的生长发育状况。A 组和 B 组为 1 个对照组,C 组内各组为 1 个对照组,B、C₃为 1 个对照组进行观察。试块体积较小,为防止营养基质沿着连通孔隙流出,将试块表面用较薄的水泥浆膜包裹。

经过 3 周的养护管理,试验结果如图 2 所示,A 组混凝土表面附着大量白色盐状物质,B 组白色物质析出较少。再生砖骨料本身结构疏松多孔,为碱性物质的析出提供通道和碱性水的存储提供场所。水泥石内部由于水化反应的不充分和温度应力等原因也会形成毛细通道。混凝土孔隙内碱性物质溶于水中,碱性水通过毛细通道析出,析出的碱性物质与空气中的 CO₂等物质结合生成多种盐,附着在混凝土表面。通过观察,B 组植物生长状况比 A 组较茂盛浓密,且 B 组植物颜色稍深,两组植株高度一样。植物生长 5 周后,A 组试验植物叶稍发黄,这是植物根系扎进混凝土内部,内部孔隙内碱性水环境对植物产生的影响。B 组试验生长正常,但是由于种植面积较小,倒伏较多。

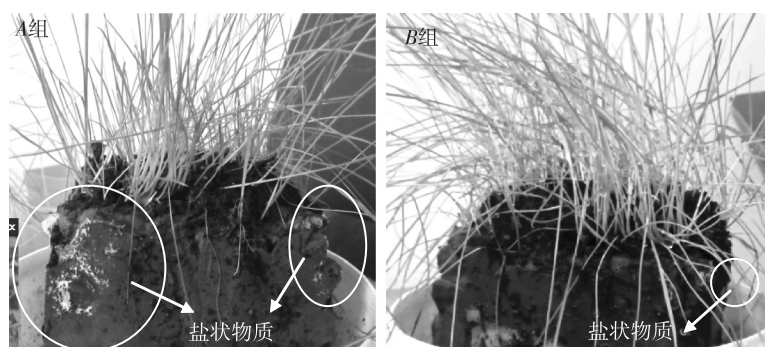


图2 A、B组试块植生效果比较

Fig. 2 Comparison between plant growth of groups A and B

对比发现,清水浸泡能一定程度上降碱,但由于水化不断进行,降碱效果受到一定限制。而 FeSO_4 的掺入能在很大程度上降低混凝土孔隙内部碱性。

比较C组内各组分植生效果发现,孔隙率越大植物生长越好。从密集程度上来说,孔隙率越大,植株越密集,混凝土表面覆盖率越高,但植株分布不均匀。这是因为,孔隙率越大,为根系生长提供的空间越大,越利于植物生长,孔隙内部有种子而孔隙体积大小分布不均导致植株生长不均匀。从植株高度上来看,孔隙率越大,植物越茂盛,这是因为孔隙内部空间越大,内部环境中碱性物质溶解度相对较低,pH值也就越低,更加利于植物生长。但是通过前期强度研究可知,孔隙率越大,强度越低,但这种混凝土是应用于河道护坡等工程的,需要有一定强度,所以不能为了植物生长无限制增加孔隙率。

种植草种3周后对比B组和C₃组发现,B组植株高度为10~12 cm,明显高于C₃组而且高度均匀,叶片为嫩黄绿色。C₃组植株高度为6~8 cm,且高度不太均匀,但叶片颜色较深,植株稍粗且挺拔。这是因为室内温度高于室外,有利于草种发芽和植株生长,但室内光照不足,不利于叶片光合作用,因此室内植株叶片颜色偏黄,且植株纤弱。

4.2 试验结果分析与工程应用

通过植生效果比较可知,清水浸泡和弱酸性物质浸泡、喷洒都可以在一定程度上降低pH值。清水浸泡是一种改善再生砖骨料植生混凝土孔隙碱性水环境的有效方法。一方面通过将碱性物质溶解析出,另一方面通过增加水分降低碱性物质的浓度来降低pH值。在工程应用中可以通过延长浇水养护的时间来达到清水浸泡降碱目的。但由于水泥石内部反应进一步进行,碱性物质不断生成,该方法降碱效果受到一定限制,应采取相应的其他措施来达到降碱目的。

弱酸性物质处理也是一种较为有效的降碱措施。酸性物质溶于水后浸入混凝土较大孔洞和毛细孔内与内部碱性物质中和反应,使内部碱性环境pH值降低。理论上酸性物质酸性越强,降碱效果越明显,降碱速度越快,但是酸性物质会引起水泥水化产物中主要凝胶物质的分解,导致多孔混凝土骨架强度降低。因此不能无限量地使用酸性较强的物质。工程上可以采用硫酸亚铁肥料淋洒或浸泡的方式改善再生砖骨料植生混凝土的孔隙碱性水环境。一方面硫酸亚铁呈弱酸性可有效降低pH值,另一方面硫酸亚铁肥料不但可以治疗植物的缺铁症,还能治疗植物的黄叶病,但也不能过量使用硫酸亚铁,否则不但会降低多孔混凝土强度,还会因施肥过量而导致植物死亡。

多孔混凝土内部有效孔隙率的多少对植物的生长效果有一定影响。多孔混凝土的设计目标孔隙包括封闭孔隙,连续孔隙和半连续孔隙。封闭孔隙不但对透水性、透气性和植生性能没有益处,还在一定程度上降低混凝土强度;连续孔隙和半连续孔隙是有效孔隙,有效孔隙率低于目标孔隙率。本试验根据阿基米德原理采用排水法测定有效孔隙率^[10],结果见表2。

由表2可以看出目标孔隙率越大,有效孔隙率越大,有效孔隙可为水和空气的流通提供更多通道,也可

为生长在其上的植物根系发育提供更多空间。有效孔隙率越大,多孔混凝土内部孔洞空间越大,则可容纳更多的土壤基质和水分,一方面为根系生长提供了更多的营养物质和空间,另一方面降低了碱性物质的浓度有利于植物根系发育。因此,工程实施过程中要保证一定的孔隙率。但是,孔隙率的增加必然会对混凝土强度产生一定影响,通过大量试验发现,当目标孔隙率小于 30% 时,28 d 抗压强度可以满足护坡工程需要的大于 6 MPa。工程应用过程中设计配合比时要保证目标孔隙率不大于 30%,文献[10]和[11]也有类似结论。

表 2 不同目标孔隙率性能测定结果

Tab. 2 Test results				
编号	目标孔隙率/%	水灰比	28 d 抗压强度/MPa	有效孔隙率/%
C ₁	24	0.32	11.38	20.88
C ₂	26	0.32	9.87	23.28
C ₃	28	0.32	7.88	25.92
C ₄	30	0.32	7.33	29.40
C ₅	32	0.32	5.42	32.04

5 结 语

(1) 根据多孔混凝土的孔隙特点可采用上置式和中置式结合的种植模式,以利提高植物成活率。因此种植基质分为两部分,一部分拌成土浆灌入孔隙内部,另一部分摊铺一定厚度于混凝土表面,每一部分都含有植物种子。

(2) 降碱措施包括清水浸泡、FeSO₄ 溶液喷洒浸泡、孔隙表面进行覆盖隔绝碱性物质释放等,清水浸泡能降碱,但降碱效果有一定局限。FeSO₄ 的掺入能明显降低碱性,但其掺量过大会对强度有一定影响,因此要保证掺量适当。

(3) 孔隙率越大,越利于植物生长,但对强度不利,因此不能无限制增加孔隙率,目标孔隙率一般控制在 30% 以内。

(4) 播种草种应选择合适的季节,保证适宜的温度、光照、水分等自然条件。

(5) 通过植生试验,获得了较好的绿化效果,但其工程可行性还有待于实际工程的进一步检验。

参 考 文 献:

- [1] 冯辉荣, 罗仁安, 樊建超. “沙琪玛骨架”绿化混凝土抗压与植草试验研究[J]. 混凝土, 2005(7): 49-53. (FENG Hui-rong, LUO Ren-an, FAN Jian-chao. “Shakima skeleton” experimental study on green concrete’s compressive and greening[J]. Concrete, 2005(7): 49-53. (in Chinese))
- [2] 李荣伟, 汪守淳, 舒国志, 等. 植被型生态混凝土孔隙内碱环境改造方法研究[J]. 新型建筑材料, 2014, 41(9): 11-14. (LI Rong-wei, WANG Shou-chun, SHU Guo-zhi, et al. Study on the method of the transformation of alkali environment in the pores of vegetation-type ecological concrete[J]. New Building Materials, 2014, 41(9): 11-14. (in Chinese))
- [3] 宋文杰. 边坡生态防护的植生混凝土研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011. (SONG Wen-jie. Study on slope ecological protection by vegetation concrete[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2011. (in Chinese))
- [4] 王桂玲, 王龙志, 张海霞, 等. 多孔种植混凝土孔隙碱度改造方法的研究[J]. 中国包装科技博览: 混凝土技术, 2012(12): 29-33. (WANG Gui-ling, WANG Long-zhi, ZHANG Hai-xia, et al. Study on the method of the transformation of alkali environment in the pores of vegetation-type ecological concrete[J]. China Science and Technology Review: Concrete Technology, 2012(12): 29-33. (in Chinese))
- [5] 张蔚. 植生混凝土种植构造及其营养土的配制研究[J]. 混凝土, 2012(11): 124-127. (ZHANG Wei. Study on the planting structure and the preparation of soil nutrient of vegetation-type concrete[J]. Concrete, 2012(11): 124-127. (in Chinese))
- [6] 彭波. 植生型多孔混凝土护岸的应用研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013. (PENG Bo. Study on vegetation-type application of porous concrete[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2013. (in Chinese))
- [7] 刘海峰. 环境友好型植物生长多孔混凝土的研究与应用[D]. 南京: 东南大学, 2004. (LIU Hai-feng. Research and application of environmental friendly plant growth porous concrete[D]. Nanjing: Southeast University, 2004. (in Chinese))
- [8] 王成名. 再生砖骨料植生混凝土制备技术和工程应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014. (WANG Cheng-ming. A study of preparation technology and engineering application of vegetation-type ecological regenerate brick concrete [D]. Tai’an:

Shandong Agricultural University, 2014. (in Chinese))

- [9] 胡安春. 植生型生态护坡施工工艺要点[J]. 中国水运, 2014(11): 54-55. (HU An-chun. Construction technology of plant ecological slope concrete[J]. China Water Transport, 2014(11): 54-55. (in Chinese))
- [10] 黄剑鹏. 适于南方城市河道的护砌植生混凝土研制及性能研究[D]. 广州:华南理工大学, 2011. (HUANG Jian-peng. Development and performance research of plant slope concrete for protection of south city river channels[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011. (in Chinese))
- [11] 钟文乐, 李政启, 朱慈勉, 等. 无砂多孔生态混凝土力学和植生性能试验研究[J]. 混凝土, 2012(6): 131-135. (ZHONG Wen-le, LI Zheng-qi, ZHU Ci-mian, et al. Experimental study on the mechanical and the growth performance of the non sand porous ecological-concrete[J]. Concrete, 2012(6): 131-135. (in Chinese))

Experimental studies on planting tests of recycled brick aggregate vegetation-type concrete

WANG Yu-jun¹, ZHAI Ai-liang¹, ZHAO Jia¹, WU Ming-ming¹, GAO Tao²

(1. *Water Conservancy and Civil Engineering College, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China;*
2. *Information Science and Engineering College, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China*)

Abstract: In order to study the characteristics of plant growth on the recycled brick aggregate vegetation-type concrete, planting tests have been carried out based on the studies of water permeability and strength properties. Planting tests based on the analyses of various plants suitable to growth conditions use the way of the combination of an overhead type and an interposition type, respectively, and use water immersion, and FeSO_4 solution treatment in order to reduce alkali, to plant Bermuda grass in different porosities of concrete, to observe and compare the effects of the plant growth, and to determine optimization conditions for recycled brick aggregate vegetation-type concrete's planting effect in order to be applied in different engineering environments. The test results show that different planting conditions have different effects of plant growth, and that the feasibility of the project has yet to be tested in actual works in the future.

Key words: recycled brick aggregate vegetation-type concrete; planting tests; reduction of alkali; effects of plant growth