

绿林地废弃物在固化土中的试验研究

王 强^{1,2,3}

(1.上海市市政规划设计研究院有限公司,上海市 200031; 2.上海城投城市发展研究院有限公司,上海市 200031;

3.上海城市路域生态工程技术研究中心,上海市 200031)

摘 要: 在“双碳”的战略目标下,以绿林地固体废弃物在道路固化土中的应用研究为背景,通过试验研究及理论机理分析,揭示绿林地废弃物在固化土中的强度变化规律。试验结果表明:水泥掺量5%时,木块在浸水后强度损失较大,且不利于压实工艺;当水泥掺量达到10%以上时,木块在固化土中有一定的增强作用,水泥胶凝产物能够形成网状增强结构;在水泥掺量为15%时,固化土强度会随着木块掺量的增加而增大,木块掺量为40%时,强度达到1.8 MPa。

关键词: 绿林地废弃物;固化土;强度

中图分类号: U414

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0260-04

Experimental Study on Green Forest Waste in Solidified Soil

WANG Qiang^{1,2,3}

(1.Shanghai Municipal Planning Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200031, China; 2.Shanghai Urban Development

Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200031, China; 3.Shanghai Urban Road Ecological Engineering Technology

Research Center, Shanghai 200031, China)

Abstract: Under the strategic goal of "dual carbon", taking the application research of green forest solid waste in road solidified soil as the background, and through the experimental research and theoretical mechanism analysis, the intensity change law of green forest waste in solidified soil is revealed. The experimental results show that when the cement content is 5%, the strength loss of wood blocks after immersion in water is great, and it is not conducive to the compaction process. When the cement content reaches more than 10%, the wood block has a certain strengthening effect in the solidified soil, and the cement gelling products can form a network reinforced structure. When the cement content is 15%, the strength of solidified soil increases with the increase of wood block content. When the wood block content is 40%, the strength reaches 1.8 MPa.

Keywords: green forest waste; solidified soil; strength

0 引 言

在过去二十多年的城市化进程中,自然资源的消耗、建设用地的无序扩张等,引发了系列城市生态环境问题,城市化进程的快速推进使得我国的生态安全受到了严峻挑战^[1-2]。因而城市绿林地的保护与修复越来越被社会各界所重视。城市绿林地是指城市内的绿色空间,包括公园、植被覆盖区域、城市森林和湿地等。越来越多城市绿林地建设会产生大量的绿林地废弃物^[3-4],主要是指园林植物自然凋落或人工修剪所产生的植物残体,包括树叶、草屑、树木与灌木剪枝

等,其主要成分为纤维素和木质素^[4]。绿林地产生的有机废弃物目前资源化途径还是以燃烧和堆肥为主^[5],主要其搜集成本较高,终端产品价值较低,资源化收益甚低^[6]。

目前城市生态园林研究利用再生建材逐步得到实施,园林建设消解城市废弃物减轻环境压力,而涉及的废弃物主要只工业固废和建筑垃圾^[7]。道路工程建设消纳固体废弃物主要用于地基加固、道路固化。Xie^[8]利用工业固废以及水泥熟料对粉体固化稳定,满足土体强度和刚度的要求,Liu^[9]利用稻壳灰和电石渣相结合对膨胀土进行固化稳定,Jia^[10]研究了水泥、钢渣以及脱硫灰等固化剂掺量对固化土无侧限抗压强度的影响,刘丽娜研究了在8%掺量的预拌流态固化土,无侧限抗压强度接近1.0 MPa^[11]。而对于绿林地自身产生的废弃物的就地循环消纳,鲜少有文献提及。因此,

收稿日期: 2024-06-27

基金项目: 上海市科委课题(22dz1208503)

作者简介: 王强(1986—),男,硕士,高级工程师,从事新材料、新工艺研究工作。

本文将绿林地废弃物作为原材料制备道路固化土,对其力学性能及服役情况进行研究,探讨不同水泥掺量及废弃物掺量对性能的影响,实现绿林地废弃物就地资源化再生,开发出利用绿林地废弃物低成本、低碳消纳的一条新路径。

1 试验研究

1.1 原材料

水泥为 P·O52.5 型水泥,密度 3.17 g/cm³,比表面积 386 m²/kg;木块为绿林地枯枝碎块,粒径 5~15 mm,密度 0.3 g/cm³;土为绿林地随机取样天然土,密度 2.64 g/cm³,最佳含水率为 14.1%,天然含水率 36%。试验所用原材料见图 1。



图 1 试验用原材料

1.2 试验方法

本次试验的目的为不同水泥掺量(质量比)和绿林地枯枝木块掺量(体积比)对于水泥稳定土的强度影响关系,以得到对于绿林地固体废弃物在道路固化土中的应用指导。

目前国家标准中涉及到水泥固化土的标准有《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG 3441—2024)(用 α 标准表示)和《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233—2011(用 β 标准表示)。两种标准都可以用于水泥等无机胶结料用于土体的固化工程应用。

1.3 α 标准试验

按照 α 标准的要求,先按照木块掺量 20%(对照组为 0),水泥掺量为 5%,水的掺量为 16% 来进行试

配,试配比例见表 1。

表 1 α 标准试验

序号	土样	水泥	木块	水
1	1 368	68.4	0	218
2	1 368	68.4	47	218

成型好的试块,表面光滑平整,木块在试件中分布相对均匀。经标准养护 6 d 和+1 d 浸水后分别测试强度,并测试浸水前后质量变化,结果见表 2。

表 2 α 标准结果

序号	标养 6 d	标养 6 d+ 1 d 浸水	浸水前 质量	浸水后 质量	质量 增加/%
1	0.83/0.94	0.51/0.55	1 466	1 487	1.4
2	1.13/1.14	0.66/0.33	1 447	1 565	8.2

结果显示,在标养 6 d 后,添加木块的固化土强度有小幅度提升,说明木块在水泥土中具有一定的骨架支撑作用。浸水 1 d 后,强度有大幅度降低甚至还低于无木块的固化土组分。

从图 2 中发现,事件进水后发生明显的膨胀开裂以及破碎的情况出现。究其原因,由于木块的弹簧效应(本身有一定的弹性变化),导致水泥土的压实度不足,有木块的地方集中发生回弹松散开裂。且由于木块与土体密度不匹配,木块会分布在试件的边缘,在浸水后发生吸水膨胀现象,浸水后质量增加 8.2%。相对于不加木块的空白组,实验组泡水后强度明显降低,降低幅度为 40%,甚至 70%(见表 2)。

此组试验说明,在 α 标准下,水泥用量和用水量偏少,水泥土总体松散不均匀,木块发生吸水膨胀导致强度下降,这就说明不能在有水的环境下服役。且由于木块的存在导致压实效果不够,压实度不可控,不利于工程现场的实施。

1.4 β 标准试验

借鉴上述试验的经验,提高水泥掺量,增加用水量,采用强制式搅拌机浇筑振实成型工艺,参照 β 标准,试验参数如下:土体的天然含水率为 36%,木块掺量从 10%、20%、30%、40%(体积分数),水泥掺量 10%、15%(质量分数),水灰比为 0.8。水泥固化土的配合比见表 3。

为了验证水泥固化土在水养护中的性能,按照《水泥土配合比设计规程》(JGJ/T 233—2011)的规定,试件成型 1 d 后,脱模放入 20 ℃ 水箱内养护。测试 7 d 和 28 d 龄期的水泥土的强度,以及浸水前后的质量变化,测试结果见表 4。

上述结果中显示,随着龄期的增加,水泥土的强度都不断地增加。在不添加木块的情况下,水泥掺量

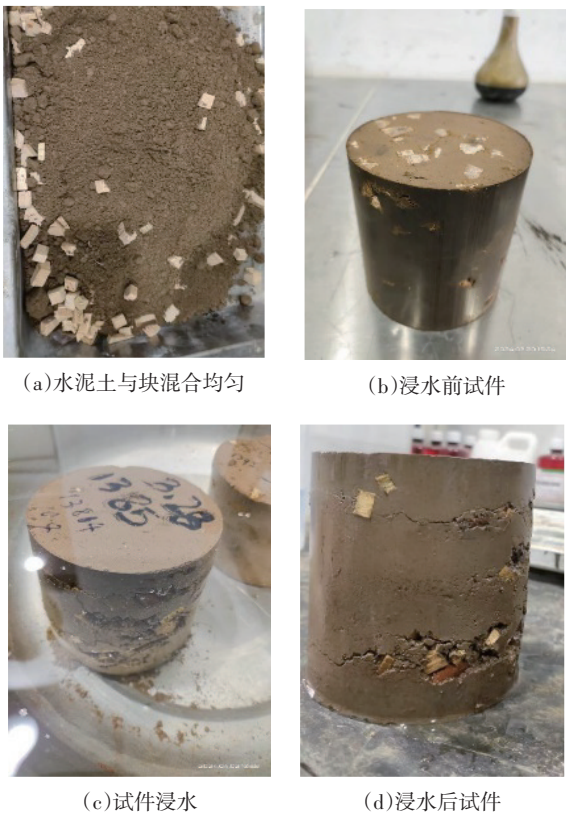


图 2 α标准抗压强度试件成型过程中图片

表 3 β标准配合比

	土样	水泥	木块	水	木块 掺量/%	水泥 掺量/%
1	1 800	180	0	144	0	10
2	1 738	173	68	138	20	10
3	1 707	170	102	136	30	10
4	1 676	167	136	134	40	10
5	1 721	258	0	206	0	15
6	1 662	249	68	200	20	15
7	1 632	244	102	195	30	15
8	1 603	240	136	192	40	15

表 4 β标准配合比强度、质量变化

序号	7 d 强度	28 d 强度	浸水前 质量	7 d 质量 变化/%	28 d 质量 变化/%
1	0.7	1.3	615	1.35	1.86
2	0.7	1.2	575	2.54	3.47
3	0.8	1.0	569	3.31	4.52
4	0.8	1.0	550	3.67	4.59
5	0.8	1.2	621	1.19	1.80
6	1.2	1.7	590	2.20	3.42
7	1.3	1.7	574	2.86	4.37
8	1.4	1.8	570	4.21	4.68

从 10% 到 15%, 都达到了 1 MPa 以上, 强度增强效应不明显。与 α 标准试验不同的是, 而随着木块含量的不断增加, 在 7 d 时, 不同水泥掺量都表现出了一定的

强度的提升, 这可能是由于 β 标准体系下, 基体对木块的包裹性更强 (见图 3 中 g、h 和 i 所示), 木块在混凝土中是骨料而不是杂质的存在, 还会起到一定的增强效果, 且随着木块进一步增大, 周边基体中水泥的水化更容易形成空间网状效应, 从而强度增加。



图 3 β标准试验过程

而当龄期来到 28 d 时, 10% 水泥掺量的固化土中, 强度相对于 7 d 龄期时增加较小, 增幅为 0.2 MPa,

而 15% 水泥掺量时水泥固化土的强度相对于 7 d 仍然有一个明显的增幅,增幅达 0.4 ~ 0.5 MPa,说明木块的骨料效应和水泥的网状效应进一步形成。

随着木块的增加,不同水泥掺量下,浸水质量变化也是同比例增加,说明出了纯水泥土的少部分吸水外,质量的增加主要还是来源于木块的吸水。另外,同一木块掺量下,不同水泥掺量的吸水率基本相当,这或许也与 β 标准浇筑成型方法有关,此时基体的密实度与水泥的变化关系不大。与 α 标准试验不同的是,在这种标准成型下,20% 木块的 7 d 吸水率只有 2.54%,远低于 α 标准的 8.2%,即使在 28 d 龄期,木块掺量在 40% 时,吸水率只有 4.68%,而且试块完整无缺,无明显膨胀变形(见图 3(d)),这也是这个标准成型下,水泥土强度能进一步提高的主要原因。

2 结 语

本文从目前国内主要的两个固化土的标准来论证了以木块为主的绿林地废弃物在固化土中应用的可行性。

(1)在《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG 3441—2024)标准试验下成型的木块废弃物固化土,由于水泥掺量低,用水量低,基体密实度差,浸水后膨胀开裂严重,强度损失较大;且含木块的水泥土存在压实度不足的问题,影响了工艺的实施。

(2)在《水泥土配合比设计规程》(JGJ/T 233—2011)标准试验下成型的木块废弃固化土,水泥掺量高,为浇筑成型工艺,基体密实度高,在浸水环境下

仍然能表现出强度的进一步增加;当水泥掺量为 15%,木块掺量为 40% 时,28 d 能够达到 1.8 MPa。

(3)在《水泥土配合比设计规程》(JGJ/T 233—2011)标准下成型的试块,木块呈现的是骨料效应,而非杂质;当水泥掺量从 10% 上升到 15% 时,水泥水化产物更容易在基体中形成空间网状效应,对强度提供增益。

参考文献:

- [1] 王云才,申佳可,彭震伟,等.适应城市增长的绿色基础设施生态系统服务优化[J].中国园林,2018,34(10):45-49.
- [2] 赵海霞,范金鼎,骆新燎,等.绿色基础设施格局变化及其驱动因素——以南京市为例[J].生态学报,2022,42(18):7597-7611.
- [3] 王瑞莹.园林废弃物资源化利用技术及机理的研究[D].苏州:苏州大学,2018.
- [4] 聂世勇,李亚光,孟格蕾,等.上海市园林废弃物循环利用现状调研及对策分析[J].园林,2021,38(12):32-37.
- [5] 许秀莹.城市园林绿化废弃物循环再利用技术路径研究及前景展望[J].智慧农业导刊,2023(2):50-58
- [6] 戚智勇,赵佳颖.我国的城市园林废弃物及其资源化利用现状[C]//2020 年全国有机固废处理与资源化利用高峰论坛论文集.长沙:中国环境学会,2020.
- [7] 戈晓宇.节约型园林背景下废弃物和再生建材的应用研究[D].北京:北京林业大学,2014.
- [8] Xie G H, Du H Q, Zhu S J, et al. Novel Cementious Materials from Industrial Solid Waste for Silt Soil Solidification[J].Advanced Materials Research, 2010, 150-151: 711-718.
- [9] Liu Y, Chang C W, Namdar A, et al. Stabilization of expansive soil using cementing material from rice husk ash and calcium carbide residue[J].Construction and Building Materials, 2019(221): 1-11.
- [10] Jia Y, Hua S, Qian L, et al. Development of steel slag -based solidification/stabilization materials for high moisture content soil[J].Journal of Renewable Materials, 2022, 10(3): 735-749.
- [11] 刘丽娜,高文生,徐彤,等.预拌流态固化土强度特征及其模型研究[J].建筑科学,2023(9):98-103.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadfloodbridge@163.com

