

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20221359

混凝土废弃物改善膨胀土的工程特性研究

韦秉旭, 王 起

(长沙理工大学交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为探究废弃混凝土处置膨胀土使之作为路基填料的可行性,按照 96:4、92:8、88:12、84:16、80:20、76:24 比例将废弃混凝土与膨胀土混合均匀后制样,进行界限含水率、线性收缩率、膨胀力和击实试验,并在无侧限强度和 CBR 试验中考虑养护时间的影响,以探究所选材料的改良效果。试验结果表明,液限和塑性指数随废弃混凝土掺量增大呈先降后升的趋势,在掺量为 12% 时出现最小值,塑限则缓慢上升;线性收缩率随掺量增加先增后减,掺量在 12% 时线性收缩率最小;不同养护期的膨胀力均随混凝土的掺入量缓慢下降;且在掺量为 12% 时,处置后的膨胀土干密度大于素土,最佳含水率小于素土。综合考虑各因素,确定掺量 12% 为最佳掺量,在该掺量下制样养护(足够时间后)混合土的无侧限抗压强度可达到峰值,且此时处置土承载力约为素土的 5 倍,处置后的膨胀土可作为路基填料。

关键词: 膨胀土;混凝土拆除废弃物;界限含水率试验;击实试验;无侧限抗压强度;CBR

中图分类号: TU443;[TV221.2] **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)06-0150-04

1 引言

膨胀土内部富含蒙脱石等强亲水性粘土矿物,具有明显的吸水膨胀、失水收缩等特性^[1],会对公路、铁路、建筑、水利等工程结构造成严重破坏。在我国膨胀土分布广泛的地区,为了减少此类土体带来的损坏,需采取换填或就地改良,而工程现场会存在无土可用或远距离调土等诸多问题,大大增加了建设成本。对此,工程大多采用改良土体性质的方法,即通过添加其他材料来改良膨胀土的膨胀性能和力学性能以达到实际工程应用的要求。目前应用最广泛的方法主要有化学改良、物理改良和生物改良三种方法^[2-5]。物理改良是通过添加非膨胀土材料使混合料颗粒间产生摩擦及混合料之间的吸附力来改善其物理力学特性,其优点是时间敏感度低、持久性长、对自然环境和现场施工影响较小等,具有很好的应用前景,目前已取得较多研究成果^[2-11]。随着我国经济的迅速发展,很多建筑物拆除重建,继而产生大量废弃建筑物垃圾,这些废弃建筑物垃圾不仅影响城市生活美观,还会造成环境污染。鉴此,本文对建筑垃圾中的废弃混凝土进行破碎、筛分、清洗等

制作再生骨料,与广西宁明膨胀土按照不同的养护期、不同的掺和比例进行试验,研究不同养护期下不同掺和比的混凝土废弃物对膨胀土的界限含水率、线性收缩率、膨胀性、击实试验及 CBR 试验的影响,并进行对比分析,以期对膨胀土改良施工技术提供参考。

2 试验材料和方法

2.1 试验材料

试验使用的膨胀土土样取自广西崇左宁明,按土样采集方法收集具有代表性的土壤样品。将土壤烘干、冷却和粉碎,研究其岩土特性及废弃混凝土块对膨胀土特性的影响。根据土壤分类系统将土壤分类为高液限土,其岩土特性见表 1。

表 1 膨胀土的主要性质指标

Tab. 1 Main property indexes of expansive soil

比 重	最大 干密度 /%	液限 /%	塑限 /%	塑性指 数 /%	最佳含 水率 /%	无侧限抗压 强度 /kPa	加州承 载比 /%	自由膨 胀 /%
2.74	1.77	60.1	27.5	31.7	17.4	312	4.27	55

注:最大干密度单位为 g/cm^3 。

2.2 混凝土拆除垃圾

一般来说,拆建垃圾来自拆除旧建筑和基础设施。回收和再利用混凝土废弃物是减少垃圾填

收稿日期: 2022-07-04, 修回日期: 2022-08-16

作者简介: 韦秉旭(1970-),男,博士、教授,研究方向为特殊土路基、路基土流变与损伤、路基土动力学, E-mail: 1346426432@qq.com

埋场的可持续解决方案。本文使用的混凝土废弃物是从长沙市房屋改建住宅的面板中获得的碎混凝土块。将得到的混凝土拆迁废料粉碎成粉末,过 0.5 mm 筛,其颗粒分布曲线见图 1。需要注意的是,由于混凝土块已经粉碎,较粗的颗粒和不规则形状的混凝土废弃物可能在样品内形成小水道,因此将其转化为细颗粒以获得相对均匀的试样并避免在混合外加剂与膨胀土时分离。

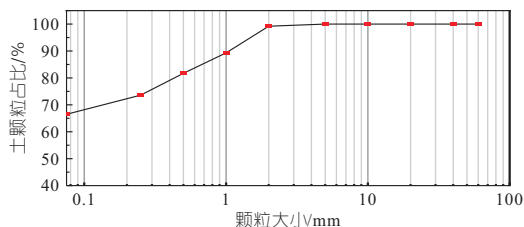


图 1 膨胀土颗粒分布曲线

Fig. 1 Distribution curve of expansive soil particles

2.3 试验方案

取混凝土拆除废料与膨胀土混合,掺量配比分别为 96 : 4、92 : 8、88 : 12、84 : 16、80 : 20、76 : 24,将制备的试件分别养护 1、7、28 d,并且所有试件采用最佳含水率和最大干密度配置试件。

3 试验结果与分析

3.1 界限含水率试验及收缩试验

有表 1 可知,该膨胀土液限和塑限分别为 60.1%、27.5%。向膨胀土中添加不同掺量废弃混凝土进行界限含水率试验,并绘制液、塑限和塑性指数随掺量的变化图,见图 2。由图 2 可知,在膨胀土中掺加废弃混凝土掺量从 0~16% 时,液限急剧下降至仅 48%,而塑限逐渐增加,塑性指数开始逐渐下降,但在 18.5% 时会有所提高。对向膨胀土中添加不同掺量的废弃混凝土颗粒亦进行线性收缩试验,并绘制相关曲线见图 3。由图 3

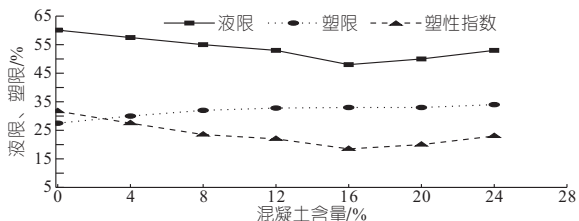


图 2 界限含水率变化

Fig. 2 Variation of boundary water content

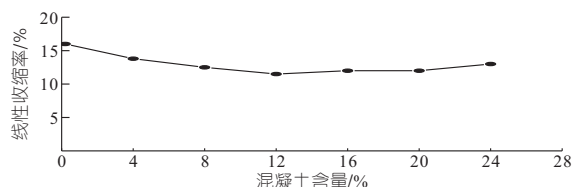


图 3 线性收缩结果变化

Fig. 3 Changes in linear shrinkage results

可知,当添加 12% 的废弃混凝土颗粒时土壤的线性收缩极限降低到 11.5%。分析试验结果可知,添加废弃混凝土颗粒后界限含水率和线性收缩极限得到显著提高,主要原因在于废弃混凝土块中存在细砂粒,其表面积小于天然土壤的粘土颗粒和废弃混凝土颗粒,还含有减少粘土颗粒的吸附力的水泥颗粒。该结论与文献[10]相符。

3.2 膨胀性试验

在不同养护期和不同废弃混凝土颗粒掺量条件下,研究废弃混凝土块对膨胀土膨胀率和膨胀压力的影响。本研究进行膨胀测试的土壤—外加剂组合是土壤—废弃混凝土颗粒,分别为 96 : 4、92 : 8、88 : 12、84 : 16、80 : 20、76 : 24 共 6 组试样。准备好样品并用保鲜膜包裹,在养护 1、7、28 d 后进行测试。添加废弃混凝土块对素土膨胀率的影响见图 4。未添加混凝土颗粒的土壤膨胀率为 55%,在养护龄期 1、7、28 d 条件下,废弃混凝土块含量在 0~12% 时,处置土的膨胀率均急剧下降,废弃混凝土含量大于 12% 时,处置土膨胀率下降缓慢。在废弃混凝土掺量在 12% 时,养护 1、7、28 d 的处置土膨胀率分别下降 57.35%、47.7%、45.01%。向土中添加废弃混凝土颗粒导致处置土的膨胀率降低,则土的膨胀压力也会随之降低,在装样时,将样品压在环刀中,并使用定容法研究其膨胀压力,结果见图 5。由图 5 可知,在添加 0~12% 的废弃混凝土时,养护 1、7、28 d 后膨胀力急剧下降,超过掺量 12% 时,膨胀力下降缓慢并逐渐趋于平缓。因此,添加 12% 的废弃混凝土块废物为最佳选择,可有效降低所选土壤的膨胀压力,主要原因为土壤—废弃混凝土块混合物中粗颗粒含量的增加,导致土壤表面活性降

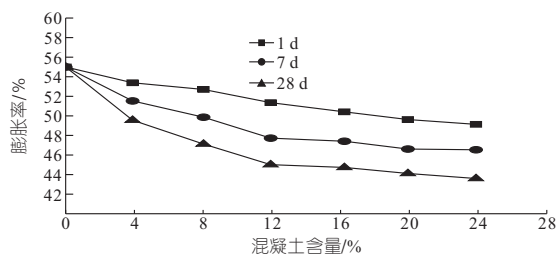


图 4 混凝土对土壤膨胀率的影响变化

Fig. 4 Influence of concrete on soil expansion rate

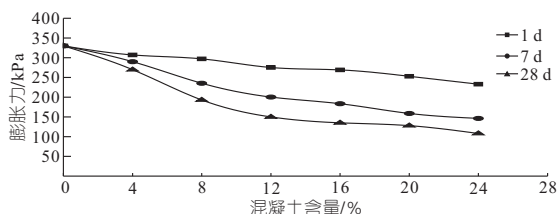


图 5 膨胀压力测试结果

Fig. 5 Expansion pressure test results

低,废弃混凝土块中存在的水泥通过吸水阻塞土壤空隙,降低了土颗粒之间的吸附力。该结论与文献[10,12]相吻合。

3.3 击实试验

当膨胀土中掺入废弃混凝土时,膨胀土的最大干密度和最佳含水率势必会改变,本文进行击实试验,探究不同配比的废弃混凝土对膨胀土的影响。根据界限含水率、膨胀率和膨胀力的测试结果可知,当废弃混凝土掺量为 12% 时,处置土界限含水率、膨胀力、膨胀率均发生变化,因此选择废弃混凝土掺量 12% 作为最佳混合物。进行击实试验的土壤-废弃混凝土块组合及其比例固定为 88 : 12,由试验结果拟合出的击实曲线见图 6。由图 6 可知,添加 12% 废弃混凝土块的处置土与素土相比,其最大干密度从 1.77 g/cm³ 增加到 1.81 g/cm³,最佳含水率从 17.5% 下降到 16.3%。最佳含水率降低的原因为废弃混凝土块中存在细砂,细砂本身坚硬,不易吸收过多水分,与粘土相比,其内部空间松散,比表面积通常较低。该结论与文献[11]一致。

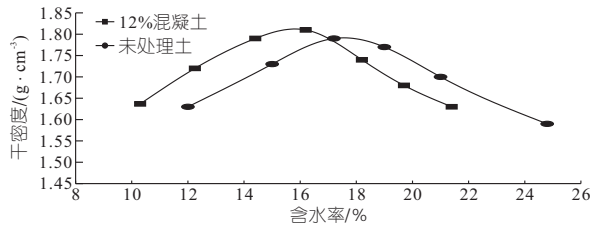


图 6 含水率和干密度关系曲线

Fig. 6 Curve of moisture content and dry density

3.4 无侧限抗压强度试验

为测得废弃混凝土对膨胀土无侧限抗压强度的改良情况,进行无侧限抗压强度试验,并使用养护 1、7、28 d 不同掺量的处置土。土壤与废弃混凝土配比分别为 90 : 10、88 : 12、80 : 20、78 : 22。准备好样品并包裹保鲜膜,并在 1、7、28 d 的养护期后进行测试,结果见图 7。未掺加废弃混凝土的土壤无侧限抗压强度为 312 kPa。根据试验结果观察,无侧限抗压强度随废弃混凝土块掺量的增

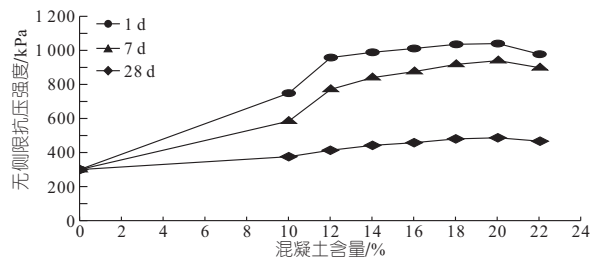


图 7 无侧限抗压强度与混凝土含量变化

Fig. 7 Unconfined compressive strength versus concrete content

加而增加,强度随着养护时间的延长而增加。由图 7 可知,掺量 10% 的废弃混凝土在养护 7 d 后,处置土的抗压强度值最大为 595.2 kPa,随后趋于稳定;掺量 12% 废弃混凝土养护 7 d 后,抗压强度达到峰值,为 777.2 kPa,随后趋于稳定;掺量 20% 的废弃混凝土养护 7 d 后,抗压强度达到峰值,为 948.6 kPa;掺量 22% 的废弃混凝土颗粒,在养护 7 d 后最大抗压强度为 905 kPa。养护 28 d 情况下无侧限抗压强度测试结果为掺量 10%、12%、20%、22% 废弃混凝土颗粒的最大抗压强度分别为 738、965.6、1 040、962.2 kPa。混合土的无侧限抗压强度增加的原因,一方面是由于加入水泥后,水泥发生凝固化学反应,在土体中形成水化骨架,骨架对离散的土体形成约束,制约了土体的自由变形;另一方面,水泥发生水化反应的产物与土体发生离子交换作用,提高土体强度。该结论与文献[12]一致。此外,还可看出添加 12% 的混凝土颗粒,在养护 28 d 后,无侧限抗压强度值增加了约为原始值的 3.09 倍,土壤强度显著增加。养护 28 d 后,分别以原始值 2.36、3.09、3.33、3.08 倍逐渐增加。尤其是连续添加 22% 的废弃混凝土块将使土壤行为从柔性材料变为脆性材料,而较高百分比的废弃混凝土块(22%)不利于强度的持续增加,这是因为土壤内部的孔隙空间完全被混凝土颗粒填满。

3.5 加州承载比(CBR)测试

为评定处置土的承载能力,采用加州承载比(CBR)测试。利用基础试验数据,选择添加 12% 废弃混凝土的处置土与素土的承载能力进行比较,试验结果见图 8。由图 8 可知,向土壤中添加 12% 的废弃混凝土块会使养护 7 d 的 CBR 值从 4.57% 提高到 24.58%。处置土的承载能力的增加是由于废弃混凝土块中存在沙子和水泥颗粒,会产生粘合力调动内摩擦角,从而增加强度。该结论与文献[11,12]相一致。

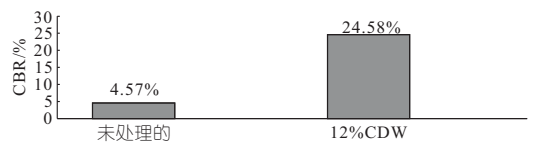


图 8 CBR 变化值

Fig. 8 CBR variation

4 结论

a. 由于混凝土废弃料是非粘性材料,经过处理后的土壤的液限、塑性指数和线性收缩极限均

随土壤掺合混凝土百分比的增加而降低,而塑限有略微提高。

b. 处置土的膨胀力下降,膨胀率下降到原来的约 1/4,当添加 12% 的废弃混凝土块时膨胀压力下降到约为初始压力的 1/2。而再进一步添加废弃混凝土颗粒,处置土的膨胀力趋于稳定。

c. 添加 12% 的废弃混凝土颗粒处置土相对于素土,其最大干密度增加,最佳含水率减小,主要原因为废弃混凝土颗粒中存在细砂所致。

d. 无侧限抗压强度随着废弃混凝土块的添加而增加,强度也在增加,添加 12% 的废弃混凝土块养护 28 d 时更加显著。

e. 土壤浸泡后其 CBR 值与添加 12% 的废弃混凝土块后的原始土壤相比,养护 7 d 后增加到原来的 5 倍。

参考文献:

[1] 肖杰,杨和平,王兴正,等. 南宁外环膨胀土抗剪强度非线性特征及影响因素分析[J]. 中国公路学报, 2014,27(10):1-8.

[2] 张雁,殷潇潇,刘通. 煤矸石改良膨胀土特性及其最佳掺量条件下的孔隙结构表征[J]. 农业工程学报, 2018,34(22):267-274.

[3] 张雁,王明磊,殷潇潇,等. 干湿循环作用对煤矸石

稳定膨胀土行为的影响[J]. 硅酸盐通报,2018,37(11):3604-3610.

[4] 李艳玲,刘园,杨琳. 粉煤灰改良膨胀土路堤强度及膨胀特性试验研究[J]. 粉煤灰综合利用,2018(2):31-34.

[5] 傅乃强,徐洪钟,张苏俊. 纤维粉煤灰改良膨胀土无侧限抗压强度试验[J]. 南京工业大学学报(自然科学版),2018,40(1):133-137.

[6] 吴新锋. 玄武岩纤维改善膨胀土性能试验研究[J]. 公路交通科技(应用技术版),2017,13(12):67-69.

[7] 符策岭,曾召田,莫红艳,等. 石灰改良膨胀土的工程特性试验研究[J]. 广西大学学报(自然科学), 2019,44(2):524-533.

[8] 常锦,杨和平,肖杰,等. 酸性环境对百色膨胀土胀缩性能的影响及其微观解释[J]. 交通运输工程学报,2019,19(1):24-32.

[9] 李国维,巩齐齐,李涛,等. 崩解性砂软岩改良弱膨胀土性状实验研究[J]. 工程地质学报,2021,29(1):34-43.

[10] 杨俊,黎新春,张国栋,等. 风化细砂改良膨胀土胀缩特性室内试验研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2012,31(6):734-739.

[11] 杨俊,袁凯,狄先均,唐云伟,黄家标. 天然砂砾改良膨胀土力学指标试验及模型分析[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2016,37(3):359-366.

[12] 刘强. 膨胀土掺水泥改良的试验研究及分析[J]. 价值工程,2016,35(36):95-97.

Research on Geotechnical Properties of Concrete Waste Improvement in Swelling Soil

WEI Bing-xu, WANG Qi

(School of Traffic & Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to explore the feasibility of using waste concrete to dispose expansive soil and make it as roadbed filler, the waste concrete and expansive soil were mixed evenly according to the ratio of 96 : 4, 92 : 8, 88 : 12, 84 : 16, 80 : 20 and 76 : 24. The boundary moisture content, linear shrinkage rate, expansion force and compaction tests were carried out. The influence of curing time was considered in unconfined strength and CBR tests to explore the improvement effect of the selected materials. The experimental results show that the liquid limit and plastic index decrease first and then increase with the increase of waste concrete content, and the minimum value appears when the content is 12 %, while the plastic limit increases slowly. The linear shrinkage rate increases first and then decreases with the increase of dosage, and the linear shrinkage rate is the smallest when the dosage is 12 %. The expansion force under different curing periods decreases slowly with the incorporation of concrete. When the dosage is 12 %, the dry density of the treated expansive soil is greater than that of the plain soil, and the optimum moisture content is less than that of the plain soil. Considering various factors, 12 % is determined as the best dosage. Under this dosage, the unconfined compressive strength of the mixed soil can reach the peak value, and the bearing capacity of the treated soil is about 5 times that of the plain soil. The treated expansive soil can be used as roadbed filler.

Key words: expansive soil; concrete demolition waste; boundary moisture content test; compaction test; unconfined compressive strength; CBR