

天然废物稳定剂改善膨胀土研究进展

杨晨曦^{1,2,3,4}, 张海欧^{1,2,3,4}

¹陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

²陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

Email: 1098002212@qq.com

收稿日期: 2021年6月3日; 录用日期: 2021年7月5日; 发布日期: 2021年7月12日

摘要

膨胀土壤由于土壤中亲水性较强而与水接触时会膨胀, 水分蒸发时会收缩, 这些土壤在建筑、农业活动中会带来较大的危害。本文综述了使用成本低廉的天然固化剂对土壤进行固化结果, 结果表明, 使用石灰、稻壳灰-石灰、稻糠灰-粉煤灰、黄麻等天然物质对于膨胀土壤固化作用具有良好的效果, 此外, 稻壳灰、稻糠灰、废弃黄麻纤维等多为废弃物, 因此也为废物资源化利用提供了良好的思路。

关键词

膨胀土, 固化

Research Progress of Expansive Soil Improved by Natural Waste Stabilizer

Chenxi Yang^{1,2,3,4}, Haiou Zhang^{1,2,3,4}

¹Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²ShaanXiProvincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Land and Resources, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Email: 1098002212@qq.com

Received: Jun. 3rd, 2021; accepted: Jul. 5th, 2021; published: Jul. 12th, 2021

文章引用: 杨晨曦, 张海欧. 天然废物稳定剂改善膨胀土研究进展[J]. 土壤科学, 2021, 9(3): 124-128.

DOI: 10.12677/hjss.2021.93015

Abstract

Due to the strong hydrophilicity in the soil, expansive soil will expand when it comes into contact with water, and contract when water evaporates, which will bring great harm to construction and agricultural activities. This paper summarizes the results of soil solidification with low-cost natural solidifying agents. The results show that lime, rice husk ash lime, rice bran ash fly ash, jute and other natural substances have good effect on the solidification of expansive soil. In addition, rice husk ash, rice bran ash, jute fiber and other waste materials are mostly wastes. Therefore, it also provides a good idea for the utilization of waste resources.

Keywords

Expansive Soil, Solidification

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

膨胀土壤由于土壤中含有亲水性较强的伊利石、蒙脱石等矿物,因此与水接触时会膨胀,水分蒸发时会收缩,这些土壤在各种建筑、农业活动中均会带来较大的危害[1] [2] [3]。因此为了改变膨胀土在实际中的危害,必须提高其抗荷载作用强度,并改变其在潮湿条件下的行为。膨胀土壤的溶胀能力主要取决于其矿物质组成以及原位水分含量和密度,此外土壤的多孔性也会影响溶胀能力。通常,塑性指数大于 25、液限大于 40、天然含水量接近或小于塑性极限的粘土更容易膨胀,含有粗颗粒(如鹅卵石、沙子等)的土壤可能也会膨胀,这取决于其细粒含量中粘土矿物的百分比和类型。粘土属于酸盐矿物,其主要元素是硅、铝和氧,然而,许多元素同样可以存在于粘土矿物中,如氢、钠、钙、镁、硫等,例如一些粘土矿物表现出膨胀行为,其组成包括蒙脱石、膨润土、蒙脱石、贝得利石、蛭石、凹凸棒石、方解石和绿泥石等[4]。

基于上述膨胀土或粘土矿物带来的危害,使用合适的固化剂来固化土壤是解决此类问题的有效方法[5] [6]。目前国内外改善膨胀土主要是通过火山灰反应进行改善,通过利用石灰、水泥、矿渣等含钙制剂进行凝胶化等反应,从而降低膨胀土的含水率、液塑限等指标,从而改善膨胀土膨胀特性。通过研究膨胀土特性、土壤固化技术,使用不同固化剂研究固化膨胀土的效果,并通过微观结构的相互作用分析,筛选出具有良好固化效果的固化剂。本综述总结了实际工程中常用、固化效果好且廉价易得的土壤固化剂,包括石灰、稻壳灰、壳粉、废弃纤维等,这些材料能够提高土壤抗剪强度,同时通过机械稳定和化学稳定提高土壤稳定性,改变土壤的颗粒级配与土壤性质。

2. 固化剂类型

2.1. 石灰

石灰与膨胀土壤中存在的粘土矿物可发生反应,并形成坚硬的胶结基质,使用石灰作为固化剂可以提高土壤的剪切强度,同时提高土壤的体积稳定性[7]。Nadgouda 等人[8]研究表明,石灰含量在 2.5%到 7.5%之间,与土壤重量的比值为 0.5%,未处理土壤的液限为 59.8%,随着石灰含量的增加,液限变化为

53.2%~59.5%，对于 4.5% 的石灰含量，液限值最小，石灰添加量超过 4.5% 液限值开始增加，因此，石灰含量为 4%~4.5% 为最佳掺量。未经石灰处理的土壤的塑限为 33%，并且随着石灰含量的增加，塑限由 32% 变为 40%，而对于稳定土壤的塑性极限没有太大变化，但据报道，添加 4% 的石灰时，塑性极限的最低值为 32%。可塑性指数随着石灰含量的增加而降低。标准压实结果表明，不管添加的石灰含量如何，土壤的最大干密度与添加石灰量无关，保持恒定，但随着石灰含量的增加，最佳水分含量呈下降趋势，介于 23% 至 30% 之间，因此土壤的干重没有明显增加。此外，随着石灰含量的增加，自由膨胀率减小，对于原始土壤，报告的膨胀率为 39%，当添加 2.5% 的石灰时，其膨胀率变为 34%，未添加石灰时，膨胀压力为 1.06 kg/cm^2 ，在石灰含量为 2.5% 时，溶胀压力值降低至 0.42 kg/cm^2 ，并且在石灰含量为 3.5% 时，溶胀压力值趋于降低，此后在石灰含量为 7.5% 时再次升高至 0.6 kg/cm^2 。

上述研究结果表明利用石灰固化土壤是克服膨胀土中膨胀和收缩的有效方法，石灰固化土壤可增强土壤强度和体积稳定性。

2.2. 稻壳灰和石灰

火山灰是硅质和/或铝质材料，其本身具有较弱胶结特性，但是与氢氧化钙发生化学反应可形成具有胶结特性的化合物，火山灰中含有大量的硅与铝，而稻壳灰含有约 90% 的二氧化硅，这是植物残渣中二氧化硅含量的最大浓度[9]，研究表明使用稻壳灰(RHA)、石灰和聚丙烯纤维(PPF)可以固化膨胀土壤[10]，结果表明，RHA 的最佳添加量为土壤干重的 10%，石灰的最佳添加量为土壤干重的 4%，此外，PPF 的添加量会导致最大干密度值减少，而最佳含水量增加。无侧限抗压强度实验表明未经处理的黑棉土壤的 UCS 值为 60 kN/m^2 ，当添加 RHA 和石灰后，UCS 值增加到 68 kN/m^2 ，固化 28 天后，UCS 增加至 571 kN/m^2 。在固化 28 天后，CBR 值报告为 19.1%。未固化膨胀土壤的溶胀压力为 138 kN/m^2 ，当土壤与最佳剂量的 RHA 和石灰混合时，溶胀压力降至 54 kN/m^2 。然而，由于固化过程中添加了 PPF，其最大干密度降低、最佳含水量增加，因此，这种固化剂存在部分缺点。

2.3. 稻糠灰和粉煤灰

草木灰是植物燃烧后的残余物，其含有大量的矿物质，目前草木灰的常用途径是作为钾肥用来还田[11]。粉煤灰是由燃料燃烧产生的固体颗粒物，如发电厂中烟道气体中的细灰。粉煤灰中含有 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 等，目前粉煤灰已被用于制造水泥及建材等。基于上述材料的性质，其可被用于土壤固化剂用于固化土壤[12]。

Laxmikant 等人研究了粉煤灰和稻壳灰(RHA)作为固化剂[10]，其中稻壳灰为 3% 至 15%，粉煤灰为 5%、8%、10% 和 12%。结果表明，未经处理的土壤的比重为 2.63，土壤比重随着 RHA 增加而降低，RHA 含量为 15% 时土壤比重为 2.43，此外，由于土壤中 RHA 含量的增加，塑性指数开始下降，未经处理土壤的最大干密度为 18.6 kN/m^3 ，混合有 RHA 的土壤平均最大干密度降低，当土壤中 RHA 含量为 15% 时，最大干密度降至 17.2 kN/m^3 ，然而，当粉煤灰添加到土壤中时，最大干密度值急剧下降，而最大含水率增加，在 12% 的最大含水率时，粉煤灰含量为 15% 时的最大干密度为 13 kN/m^3 ，两种固化剂均未能能为土壤提供较大干密度值。未经处理土壤的无侧限抗压强度值为 118 kN/m^2 ，在 RHA 含量为 9% 时，无侧限抗压强度值为 170 kN/m^2 ，之后随着 RHA 含量的增加而趋于降低。然而，在粉煤灰含量为 12% 时，土壤中无侧限抗压强度值为 350 kN/m^2 ，因此，粉煤灰作为固化剂可提高其无侧限抗压强度。以粉煤灰为固化剂将具有良好的抗剪切能力。

2.4. 黄麻

黄麻纤维是一种廉价的天然纤维，其种植量仅次于棉花，基于此，利用黄麻纤维作为土壤固化材料

经济性能较强[13]。然而传统仅将黄麻纤维添加入土壤中用于固化土壤其效果较差,且最佳使用量无法确定,因此研究纤维含量和纤维长度对于黄麻纤维增强膨胀土强度参数具有重要意义。

Wang 等人[14]通过设置黄麻纤维使用量为 0%~0.9%,并且使用 6 mm、12 mm 和 18 mm 三种不同纤维长度进行稳定膨胀土研究,研究表明,掺有 0.6%纤维含量的土壤在 400 kPa 垂直压力下的剪切强度为 240 kPa,此外,对于添加的纤维含量的不同百分比其粘聚力值均增加,而与纤维长度无关,在纤维含量为 0.6%时,其最大粘聚力为 129 kPa,而未处理土壤的粘聚力为 85 kPa。在纤维含量超过 0.6%时,无论纤维长度如何,粘聚力值都会大大降低。此外,未经处理的土壤的内摩擦角为 25.50°,当纤维含量为 0.3%,纤维长度为 6 mm 时,内摩擦角为 26°。由于含水量在抗剪强度参数中起主要作用,因此研究了土壤密度为 1.80 g/cc,纤维长度为 12 mm 时含水率。随着含水量的增加,纤维的粘聚力值增加到含水量的 18%。然而,超过含水量的 18%时,粘聚力趋于降低,随着土壤含水量的增加,不同纤维含量下的内摩擦角值逐渐减小。基于上述分析,黄麻纤维会导致土体密度增大,从而影响强度,此外较高的土体密度需更高的压实能量,这减少了与纤维接触的土壤颗粒的塑性变形,因此膨胀土中黄麻纤维最有效含量为 0.6%,长度为 6 mm。

3. 结论与展望

本文综述了通过使用部分废弃物对膨胀土进行固化,其中包括石灰、稻壳灰-石灰、稻糠灰-粉煤灰、黄麻等,结果表明,这些天然固化剂能够有效提高土壤抗剪切强度、增加土壤无侧限抗压强度、降低土壤溶胀性等,此外,稻壳灰、稻糠灰、废弃黄麻纤维等多为废弃物,因此也为废物资源化利用提供了良好的思路。

尽管这些天然产物用于规模化膨胀土固化成本较低且效果较好,然而这些材料仍有缺陷,例如粉煤灰中含有重金属,对土壤带来危害。此外,这些材料与高分子固化剂的固化效果相比仍然较差,因此筛选固化效果更佳的固化剂仍是未来的研究重点。同时,通过已有废弃物改善膨胀土物理强度与保水性能也是未来改善膨胀土梯田田坎垮塌的重要方向。

基金项目

陕西省土地工程建设集团内部科研项目(DJNY2020-17, DJNY2021-22)。

参考文献

- [1] 马晓宁, 王选仓, 孙进玲, 王欢, 付良举. 陇南地区膨胀土微观结构与膨胀性[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 111-114+149.
- [2] 刘贵起, 徐洪钟, 孙义杰, 张世礼. 纤维增韧地质聚合物改良膨胀土力学特性试验[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2019, 41(4): 456-462.
- [3] 谢向荣, 程翔, 李双平. 安全监测技术在膨胀土渠道监测中的应用[J]. 人民长江, 2015, 46(5): 26-29+34.
- [4] 曾斌, 王青薇, 刘清秉, 黄定强, 董忠萍. “引江济汉”工程渠坡膨胀土分级评价量化模型研究[J]. 工程地质学报, 2013, 21(6): 959-966.
- [5] 黄伟, 刘清秉, 项伟, 张云龙, 王臻华, DAO Minh Huan. 离子固化剂改性蒙脱土吸附水特性及持水模型研究[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(1): 121-130.
- [6] 王凤华, 项伟, 袁悦锋. 离子土壤固化剂改性膨胀土冻融过程中水分迁移试验研究[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(7): 111-116.
- [7] 汪明武, 秦帅, 李健, 徐鹏. 合肥石灰改良膨胀土的非饱和强度试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S2): 4233-4238.
- [8] Nadgouda, K.A. and Hegde, R.A. (2010) The Effect of Lime Stabilization on Properties of Black Cotton Soil. *Indian Geotechnical Conference*, Mumbai, 16-18 December 2010, 511-514.

- [9] 安冬敏. 稻壳生物质资源的综合利用[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [10] Yadu, L., Tripathi, R.K. and Singh, D. (2011) Comparison of Fly Ash and Rice Husk Ash Stabilized Black Cotton Soil. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, **4**, 42-45.
- [11] 钟平, 邵文奇, 纪力, 石彦兵. 江苏省秸秆发电厂草木灰的利用现状[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(5): 360-361.
- [12] Nguyen, T.C., Loganathan, P., Nguyen, T.V., *et al.* (2020) Adsorptive Removal of Five Heavy Metals from Water Using Blast Furnace Slag and Fly Ash. *Environmental Science and Pollution Research*, **25**, 1-9.
- [13] 陆韬, 璩继立. 黄原胶和黄麻纤维对上海黏土无侧限抗压强度的影响[J]. *公路交通科技*, 2020, 37(3): 9-16+23.
- [14] Yixian, W., Panpan, G., Shengbiao, S., *et al.* (2016) Study on Strength Influence Mechanism of Fiber-Reinforced Expansive Soil Using Jute. *Geotechnical & Geological Engineering*, **34**, 1079-1088.
<https://doi.org/10.1007/s10706-016-0028-4>