

污染土的岩土工程问题研究进展

谢 潇^{1,2,3,4*}, 王璐瑶^{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

收稿日期: 2022年10月19日; 录用日期: 2022年11月18日; 发布日期: 2022年11月28日

摘 要

随着社会经济的快速发展, 土壤的污染问题日渐突出, 污染土壤的性质和结构会发生变化, 对人体健康及城市建设造成威胁。因此, 了解污染土的工程性质, 对工程建设质量的提高及环境保护意义重大。本文总结了土壤污染造成的岩土工程问题, 对目前污染土修复处理技术进行了概述, 并对污染土岩土工程方面的相关研究进行了总结与评述, 对污染土岩土工程问题今后的发展方向进行了展望。

关键词

土壤污染, 岩土工程问题, 修复处理技术

Research Progress on Geotechnical Engineering Issue of Contaminated Soil

Xiao Xie^{1,2,3,4*}, Luyao Wang^{1,2,3,4}

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

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

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

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

Received: Oct. 19th, 2022; accepted: Nov. 18th, 2022; published: Nov. 28th, 2022

*通讯作者。

Abstract

With the rapid development of social economy, the soil pollution problem becomes more and more serious. The character and structure of contaminated soil have changed, which will threaten human health and city construction. Therefore, understanding the engineering properties of contaminated soil is of great significance to the improvement of engineering construction quality and environmental protection. In this paper, the geotechnical engineering problems caused by soil pollution are summarized, the current remediation technology of contaminated soil is generalized, also, the related research on geotechnical engineering of contaminated soil is summarized and reviewed, future development direction of contaminated soil geotechnical engineering is prospected.

Keywords

Soil Pollution, Geotechnical Engineering Issue, Remediation and Treatment Technology

Copyright © 2022 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

污染土是因外来的致污物质侵入,使得土的物理力学及化学性质发生变化的一类土[1]。由于人口数量急剧增长、人类活动对自然环境影响程度不断增强。工业的加速发展、生活垃圾的不断增加、煤矿退出市场、以及一些化工企业的搬迁等,这些均会导致土体环境逐渐恶化,由此造成了人类赖以生存的大气、水体、土体的污染。由于环境污染问题日益严重,污染物质在土体中长期积累、沉淀及迁移,将对人类生产生活的安全造成严重的危害。土体的污染主要来自工业污染、交通污染、生活污染和农业污染[2],废渣、废水、废气、农药、生活垃圾中的重金属制品等,都是污染土体的根源。作为地下的工程材料,土体与人类的生产生活密切相关。受到污染的土体一方面会危害自然环境[3],对人体健康造成危害;另一方面,土体被污染物侵蚀后,会导致土体性质发生变化[4] [5] [6],从而引起地基失稳、建筑物不均匀沉降等,并会影响建构筑物的安全性和耐久性[7]。目前已经有很多与此相关的案例,例如,由于有机溶剂下渗,废酸废碱液进入地基土中,使得上海某洗涤剂厂的粉喷车间发现地面、墙体都出现开裂现象,设备管道都严重断裂渗漏[7]。由此可见,土体受到污染后会产生一系列的岩土工程问题,研究污染土的物理力学性质,对工程建设质量的提高及环境保护意义重大。而我国对于污染土的研究成果大多是基于环境保护及土壤学方面的,关于岩土工程方面的研究相对不足。对于重金属污染土的工程性质及地基处理技术的研究起步较晚。

2. 污染土的来源

土中的污染物通常可以分为两大类:有机污染物和无机污染物。无机污染物包括重金属离子(砷、铅、锌、镉、铬等)及盐渍污染、酸碱等水溶相介质污染,而有机污染物包括苯系物、石油污染物、农药、多氯联苯等。土中污染物的来源有两个方面。一是来源于成土母质,土壤由于成土母质与成土过程的不同,其中的各组分含量也有差异,但土中污染物主要是来源于人类工业生产活动及生活方式的影响。一些工

矿企业, 如采矿企业、造纸、纺织、化工、玻璃等的污水排放会引起河流污染, 污染物同时会渗入周边的土壤中。再者, 农田中的化肥施用一方面会使农作物的产量增加, 另一方面, 化肥中的磷含有一些重金属元素, 长期施用会在土壤中产生累积。同时, 生活垃圾不合理的堆放, 也会使得污染物通过渗透作用进入其周围的土中, 引起土体结构的变化。

3. 土壤污染造成的岩土工程问题

污染物进入土体后, 会不断积累, 一旦超出土体自身的自净能力, 就会引起土体的污染, 降低土体的力学性能。当作为工程地基的土体受到污染后, 一方面会对其工程性质会产生不利的影 响, 可能会降低地基的承载能力, 另一方面, 受到污染的土体可能会具有腐蚀性, 对地下工程的安全性和耐久性造成威胁。

3.1. 污染物对土体物理力学性质的影响

污染物与土壤之间有复杂的相互作用关系, 在土中长期存在, 不易迁移, 溶蚀颗粒间的胶体、破坏其胶结强度而改变了土体物理结构及化学性质, 导致岩土体的孔隙比、压缩性、抗剪强度发生变化、承载力下降。

1) 污染土的抗剪强度和压缩性

土体的抗剪强度和压缩性是土工程性质的重要组成部分。而污染物会对土体的结构产生一定的影响, 从而影响土的抗剪强度和压缩变形特性等工程性质。贺瑶瑶和陈金洪[5]通过试验测试了镉(Cd)污染土的力学特性, 结果表明: 重金属镉(Cd)使土体的抗压强度、剪切强度显著降低, 粘聚力降低, 而渗透系数、内摩擦角明显增大。并从微观角度揭示了污染土的力学性质变化的原因。查甫生等[8]研究了重金属污染对土工程性质的影响, 发现重金属的存在会导致土壤粘粒及易溶盐含量降低, 阳离子交换量减少, 无侧限抗压强度减小。刘刚等[9]对不同 Zn^{2+} 、 Cr^{3+} 和 Cu^{2+} 掺量的重金属污染黄土的工程性质进行了研究, 发现黄土的黏聚力随重金属离子掺量的增加而减小, 内摩擦角的变化趋势则与之相反, 压缩系数随掺量增加而减小, 污染黄土的压缩性降低。并指出产生这种影响的原因是重金属硝酸盐水解后呈酸性, 促进了黄土中碳酸盐的溶解, 使孔隙溶液中的钾、钠、镁等离子含量增加, 改变了黏土颗粒间的双电层厚度及黏土颗粒表面所吸附的阳离子种类, 导致黄土中黏土颗粒的排列方式发生改变。

2) 污染土的膨胀性

某些重金属离子进入到土体中, 可能会引起土体产生膨胀, 从而导致基础抬升, 其上建筑物开裂等的不良影响。吕伟豪等[10]研究了重金属污染下膨胀土的变形特性, 发现 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 的存在会对膨胀土的无荷膨胀率产生影响, 经重金属离子侵入后膨胀土的膨胀性较未受到污染的土体增强。Turer [11]通过试验研究发现, 经重金属盐($Pb(NO_3)_2$ 和 $Zn(NO_3)_2$)污染后, 高岭土的膨胀量和膨胀力均有不同程度增加。地基土在遇到碱液污染的情况下也会产生膨胀[12]。

3.2. 污染物对地下建构筑物的影响

污染物通过影响地基土的力学特性, 对地下的建筑造成破坏。另外, 某些污染物具有腐蚀性, 而地下建筑结构多为钢筋混凝土结构, 污染物会与其发生反应, 导致其强度和耐久性的降低。例如重金属会对水泥砂浆的强度和耐久性产生影响[13]。Cr、Cu 及 Pb 等多种重金属氧化物侵入水泥浆中会发生反应, 影响水泥水化初期的硬化和强度[14]。水泥中掺入重金属化合物, 会显著降低水泥的强度[15]。因而在重金属污染场地的地下建构筑物施工过程中, 重金属的存在会影响其强度的发展, 并且会发生长期的迁移和转化, 改变土壤孔隙水的成分及酸碱性, 增强土壤的导电性, 使其强度和耐久性降低[13]。

4. 污染土体的处理现状

在岩土工程领域,对污染土进行处理的目的是改善土体的力学性质,消除污染物对地下建筑结构的腐蚀性,基于此,对污染土的处理主要有以下几种方法:

1) 换填技术。将已经污染的土挖除,换填正常土或者砂砾、灰土等进行夯实。采用这种方法对污染土进行处理时,需要注意,挖除的污染土应该及时处理或者妥善保存,以免造成二次污染[16]。这种方法的优点是操作简单,但是仅适用于小范围的污染土处理,当需要处理的面积较大时,其成本较大,且需要考虑土体二次堆积产生的污染。

2) 桩基处理措施。对污染土进行处理时,也可以桩基处理技术,利用桩基础穿越污染土层,桩基础需支承在有足够承载力且未受到污染的地层上,采用这种方法时需要注意,桩身需采取防腐措施。

3) 固化稳定化技术。该技术主要是用来处理重金属污染土。固化稳定化技术是指将土壤固化剂添加到受污染的土中,使得固化剂和土-土中的污染物发生一系列的化学反应,三者结合形成结构稳定性较好的土体的一种方法。同时,经过固化稳定化处理的土中的污染物因吸附或者沉淀等作用,不再向外迁移。在固化土中的污染物的同时,土体的结构强度也得到了提高。固化剂可以是石灰、粉煤灰等多种物质,该方法适用面广,施工方便且可选用成本较低的固化剂,目前已经广泛应用于工程实际[17]。

4) 微生物修复技术。利用土壤中有些微生物对污染物的吸附、富集及溶解、沉淀、氧化还原等作用,降低土壤中污染物的毒性。该方法的优点在于成本低、不会造成二次污染,安全环保,但是该方法修复时所需要的周期长且能修复的污染物有限。

5. 结论及展望

污染物进入到土体后,会发生一系列复杂的物理、化学及生物反应,因此对土的物理力学性质产生影响,从而影响与之相关的建构筑物。目前对污染土的研究主要是基于环境保护及土壤学方面的,关于岩土工程方面的研究相对不足。笔者认为在岩土工程方面,污染土还有以下方面的研究需要深入:

1) 应当对污染土的岩土工程性质进行深入研究,建立污染土的等级评价标准,以便有针对性地对污染土进行治理。

2) 将环境工程、土壤学、岩土工程三个学科领域结合起来,综合研究污染土的形成、工程特性、腐蚀过程等,深入研究土-水-污染物之间的耦合作用过程。

3) 污染土的非饱和特性及动力学特性等方面的研究仍十分欠缺,需要更近一步的研究。

4) 在污染土的治理方面,有很多的修复治理方法,不论采用哪种方法,都需要注意,杜绝二次污染的发生。

基金项目

1) 项目:陕西省土地工程建设集团内部科研项目,项目名称:新型城镇化建设中水土质量提升创新团队,编号:2022ZDLSF06-04。

2) 项目:中央高校基本科研业务费资助项目,项目名称:资源衰退型城镇边缘区土壤健康风险评估,编号:300102352502。

3) 项目:陕西省科学技术协会青年人才托举计划项目,项目名称:基于BIM的被动式环境调控技术在建筑节能中的应用研究,编号:2021-1-2-4。

参考文献

[1] 傅世法,林颂恩.污染土的岩土工程问题[J].工程勘察,1989(3):6-10.

- [2] 夏磊. 重金属污染土的工程性质试验研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2014.
- [3] Xia, X.H., Chen, X., Liu, R.M. and Liu, H. (2011) Heavy Metals in Urban Soils with Various Types of Land Use in Beijing, China. *Journal of Hazardous Materials*, **186**, 2043-2050. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.104>
- [4] 谢湘平, 王小军, 赵东坡, 尹喜超. 不同初始条件下土体污染后的物理力学性质变化实验研究[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(8): 3187-3194.
- [5] 贺瑶瑶, 陈金洪. 重金属镉污染对土体力学特性的影响及机理分析[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(9): 276-280.
- [6] 刘汉龙, 朱春鹏, 张晓璐. 酸碱污染土基本物理性质的室内测试研究[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(8): 1213-1217.
- [7] 顾季威. 酸碱废液侵蚀地基土对工程质量的影响[J]. 岩土工程学报, 1988, 10(4): 72-78.
- [8] 查甫生, 刘晶晶, 夏磊, 崔可锐. 重金属污染土的工程性质试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(S2): 1982-1985.
- [9] 刘刚, 杨秀娟, 樊恒辉, 史祥, 李普. 重金属离子对黄土物理化学及工程性质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(2): 213-218+226.
- [10] 吕伟豪, 张玉国, 郑言林, 韩帅, 万东阳. 重金属污染膨胀土膨胀变形试验研究[J]. 安徽建筑, 2018, 24(1): 179-181.
- [11] Turer, D. (2007) Effect of Heavy Metal and Alkali Contamination on the Swelling Properties of Kaolinite. *Environmental Geology*, **52**, 421-425. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0557-x>
- [12] 范青娟, 马光锁. 浸碱膨胀对地基土的影响与处理[J]. 轻金属, 1999(9): 58-62.
- [13] 张帆, 蒋宁俊. 土壤重金属污染的工程危害及修复方法[J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(4): 58-60.
- [14] Tashiro, C., Oba, J. and Akama, K. (1979) The Effects of Several Heavy Metal Oxides on the Formation of Ettringite and the Microstructure of Hardened Ettringite. *Cement & Concrete Research*, **9**, 303-308. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(79\)90122-4](https://doi.org/10.1016/0008-8846(79)90122-4)
- [15] Qiao, X.C., Poon, C.S. and Cheeseman, C.R. (2007) Investigation into the Stabilization/Solidification Performance of Portland Cement through Cement Clinker Phases. *Journal of Hazardous Materials*, **139**, 238-243. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.009>
- [16] 朱春鹏, 刘汉龙. 污染土的工程性质研究进展[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 625-630.
- [17] 张雪芹. 干湿循环作用下碱渣固化重金属污染土的稳定性的研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.