

水泥固化处理重金属污染土的研究进展

杜延军¹, 谭钟扬²

(1. 东南大学, 南京 210096; 2. 湖南大学, 长沙 410083)

摘要:使用水泥等固化剂固化处理重金属污染土是当前国际环境岩土工程界研究的热点、重点和难点之一。本文回顾了国内外水泥固化处理重金属污染土的技术的研究现状, 分析了目前国内外在研究这一技术方面存在的不足之处。并针对在我国东南沿海工业发达地区的典型的气候条件下, 提出了应当在若干方面进行深入研究, 以缩短我国和国际学术界的差距。

关键词: 重金属; 固化剂; 污染土

作者简介: 杜延军(1972—), 男, 东南大学岩土工程研究所, 教授, 从事环境岩土工程和地基处理研究工作。

0 引言

近年来随着工业的发展和人类的各种活动, 地基土污染现象愈加严重。20世纪70年代起, 欧美发达国家对于污染地基土的固化进行了初步研究。90年代以来, 欧美发达国家积极开展有关污染土的原位处理技术研究, 其中成本低且施工快的利用水泥等固化剂来固化处理污染土的方法得到了高度重视, 相关研究也取得了较大进步^[1]。在亚洲国家, 日本政府鉴于日益增多的地基土受污染的现象, 于2001制定了《土壤污染法对策》, 并积极开展污染土的固化封闭研究^[2], 有关学术机构将污染土的固化处理研究作为今后岩土工程领域的重点和难点课题来发展^[3]。在我国, 土壤受到重金属等污染的现象日趋严峻^[4]。然而由于目前处理方法还很不成熟, 处理能力也很有限, 尚没有规范和成功范例可循, 严重影响了我国绿色GDP增长, 制约了社会的可持续发展。因此, 大力开展和加强重金属污染土固化处理方面的研究, 是当前我国可持续性社会发展的迫切需要。

1 国内外研究现状

1.1 国外研究现状分析

Day and Ryan^[1]介绍了采用水泥石固化受到

重金属污染的地基土的工程实例。结果表明固化后的地基土承载力达到了设计要求, 原有的重金属污染物扩散渗透也得到了有效控制。有研究结果显示采用水泥石固化工厂场地的污染地基之后, 其强度随时间而增长, 渗漏液pH则随时间而降低, 从原有的11降低到了5年后的7左右, 原有的污染物Pb、Cd和Cu的浓度都低于美国环境保护局规定的界限值^[5, 9]。值得指出的是: 上述研究并没有涉及固化后的污染物在干湿循环条件下是否再溶出, 而干湿循环条件下污染物很有可能再溶出^[10]。Tsuneoka的研究显示, 水泥等固化剂固化处理重金属污染土之后, 不同的土性影响着污染物的再溶出特性^[11]。Jelusic指出水泥固化重金属污染土之后, 土中重金属离子浓度降低很多, 固化土样的力学特性与重金属污染物的含量和种类没有关系^[12]。而另有研究结果显示^[13, 14], 水泥搅拌法固化重金属污染黏土的效果与水泥的掺入量、重金属的含量和成分密切相关。这些分歧表明, 有关重金属污染物-固化剂-土的相互作用机理还缺乏清楚的认识, 固化封闭机制方面需要进一步深入探讨。Gervais和Ouki^[15]通过扫描电镜, 发现污染土中加入水泥后, 由于水泥和土的硬化反应生成水化硅酸钙(CSH), 从而形成致密的结构, 污染物将被牢固镶嵌到其中, 在一般的条件下难以再溶出。Van der Sloot等人^[16]对比了现

有的美国、荷兰、日本和法国现有的污染物渗漏实验规范,指出就最大溶出量而言,荷兰的实验规范可作为上限,而法国的规范则可以作为下限来考虑。在重金属污染土的长期稳定性状方面,川地武^[2]与 Shi and Spence^[13]指出水泥固化后的重金属污染土如果长期处在地下水位变动的环境下,则容易受到干湿循环的影响而产生开裂,已经固化的重金属有可能沿裂纹再溶出,也就是说水泥固化重金属污染土在干湿循环条件下,其长期稳定性有待进一步的研究。然而目前这一推论缺乏相应的实验验证和具体的机理分析。Schwantes 和 Batchelor^[17]指出,经过水泥固化封闭后的重金属污染土仍会有再溶出的风险存在,因此很有必要研究在一定条件下固化重金属污染土的稳定性状。

1.2 国内研究现状分析

我国在处理污染土方面的研究明显滞后于发达国家,现有的研究成果多局限在疏浚泥的水泥固化方面的研究^[18, 19]、污染土特性方面的研究^[20, 22]、污染物在非饱和土中的迁移^[23]和植物修复砷污染土^[24]。有学者^[25]研究了黏土固化灌浆帷幕在固体废弃物填埋场防渗防污中的应用。然而在利用水泥等固化剂来固化封闭重金属污染土的方面,特别在干湿循环、酸雨渗入和高含盐度地下水渗入外部环境,固化重金属污染土的长期性状还少有研究报道。在干燥季节和降雨季节的时候,地下水位会变动,使得部分固化封闭的重金属污染土暴露在干燥/湿润交替的环境下。长期的干燥与湿润交替环境会导致固化污染土开裂,土中水化硅酸钙(CSH)发生溶解,使得原本固化封闭的重金属污染物沿裂纹再溶出渗漏。酸雨是我国近年来面临的一个污染程度很严重的环境问题。当酸雨渗透到经水泥固化封闭后的污染地基土时,将促使土中水化硅酸钙的溶解,使得土体强度降低,原本固化在水化硅酸钙中的重金属也随之溶出渗漏。另外,由于长期过量抽取地下水致使海水入侵,以及近年来全球气候变暖致使海平面上升和海水入侵,导致地下水含盐度增高是我国东部沿海地区面临的另一环境污染问题。在地下水位较高且有一定流速的情况下,长时间内将会有地下水渗流到固化处理的重金属污染土层,发生较高浓度的钠离子与固化土中钙离子的阳离子交换,造成水化硅酸钙不断溶解,导致固化后的

土体强度降低,使原本固化在水化硅酸钙中的重金属溶出。由于上述外部环境在我国均具有普遍性,而这些外部条件对固化处理的重金属污染土的长期稳定性的影响还尚不明确,因此这一现状严重制约了重金属污染土的固化封闭法在我国,特别是在受到工业污染较重的东南部沿海地区的推广。

1.3 国内外研究中存在的不足之处

综上所述,国内外对于水泥石搅拌固化封闭污染土的研究还存在下面的不足之处:

(1) 对于重金属含量和成分对固化效果的影响尚缺乏清楚的认识,需进一步深入研究重金属成分和含量对固化后污染土的强度、再溶出特性和结构的影响,明确重金属污染物-水泥-土三者的相互作用机理。

(2) 有关固化的重金属污染土在干湿循环、酸雨渗入以及高含盐地下水渗入等三种我国典型的外界环境下,其力学性能包括强度、压缩指数和渗透系数的变化特征,少有研究结果报道。

(3) 有关固化的重金属污染土在诸如干湿循环、酸雨渗入等典型外界环境下,其已固化的重金属是否再溶出,以及再溶出的机理方面鲜有研究报道;如何建立模型定量评价再溶出特性,并预测实际工程问题方面,还需要进行深入的试验研究和理论分析。

2 结 论

本文回顾了国内外水泥固化处理重金属污染土的技术的研究现状,针对我国东南沿海工业发达地区的典型的气候条件下,提出了要在下述方面进行研究,以缩短我国和国际学术界的差距:

(1) 进一步研究重金属成分、浓度对固化处理后的重金属污染土的力学性能和化学特性方面的试验研究。

(2) 开展研究固化后的重金属污染土在干湿循环、酸雨渗入、高含盐度地下水渗入的条件下,其力学和化学稳定性状的变化。

参 考 文 献

- [1] Day, Dyan. Stabilization and treatment of contaminated soils using in-situ soil mixing[C]. Proc. Goenvironment 2000: Characterization, Containment, Reme-

- diation and Performance in Environmental Geotechnics, ASCE Special Publication 46, 1995, 2: 1355~1357.
- [2] 川地武. 污染地盤対策としての地盤改良技術の適用性[J]. 土と基礎, 2002, 50(10): 536~538.
- [3] 陈云敏, 施建勇, 张建红, 詹良通. 中国环境岩土工程的进展[C]. 中国土木工程学会第十届全国土力学及岩土工程学术会议论文集, 2007, 上集: 114~129.
- [4] Al-Tabbaa A, Evans C W. Pilot in situ auger mixing treatment of a contaminated site: Part 1: Treatability study[J]. Geotechnical Engineering, Proc. Inst. Civil Engineers, 1998, 131(1): 52~59.
- [5] Al-Tabbaa A, Evans C W. Pilot in situ auger mixing treatment of a contaminated site: Part 3: time-related performance[J]. Geotechnical Engineering, Proc. Inst. Civil Engineers, 2000, 143(2): 103~114.
- [6] Evans C W. Studies related to the in-situ treatment of contaminated ground using soil mix technology[D]. UK: Birmingham University, 1998.
- [7] Al-Tabbaa A, Boes N. Pilot in situ auger mixing treatment of a contaminated site: Part 4: Long term behavior[J]. Geotechnical Engineering, Proc. Inst. Civil Engineers, 2002, 155(3): 187~202.
- [8] Al-Tabbaa A. State of Practice Report-Stabilisation/solidification of contaminated materials with wet deep soil mixing[C]. Proc. Int. Conf. Deep Mixing-Best Practice and Recent Advances, Swedish Deep Stabilisation Research Centre, Stockholm, 2005, 2: 697~731.
- [9] Kamon M, Inui T, Shoji Y. Experimental study on the long-term environmental impact caused by the cement stabilization/solidification of soft ground[J]. Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2005, 48B: 1~9.
- [10] Tsuneoka N, Mori H, Ohno M. Hexavalent chromium Cr^{6+} leached from cement treated soil[J]. Journal of the Japanese Geotechnical Society, 2003, 51(11): 41~43.
- [11] Jelisic N, Leppänen M. Remediation of contaminated land of Sörnäinen, Helsinki, by using the mass stabilization[C]. Proc. Int. Conf. Deep Mixing-Best Practice and Recent Advances, Swedish Stabilization Research Centre, Stockholm, 2005, 1: 353~356.
- [12] 韩立华. 电阻率法在污染土评价与处理中的应用研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [13] Shi C J, Spence R. Designing of cement-based formula for solidification/stabilization of hazardous, radioactive, and mixed wastes[J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2004, 34: 391~417.
- [14] Gervais C, Ouki S K. Effects of foundry dusts on the mechanical, microstructural and leaching characteristics of a cementitious systems[J]. Waste Materials in Construction, Waste Management Series, 2000, 1: 782~790.
- [15] Van der Sloot H A, Heasman H, Quevauviller P. Harmonization of leaching/extraction tests [M]. Elsevier, Holland, 1997.
- [16] Schwantes J M, Batchelor M. Simulated infinite-dilution leach test[J]. Environmental Engineering Science, 2006, 23(1): 4~13.
- [17] 朱伟, 张春雷, 高玉峰, 范昭平. 海洋疏浚固化处理土基本力学性质研究[J]. 浙江大学学报, 2005, 39(10): 1561~1565.
- [18] 李磊, 朱伟, 林成. 生物与化学作用对污泥固体渗透性的影响[J]. 岩土力学, 2006, 27(6): 933~938.
- [19] 陈云敏, 叶肖伟, 张民强等. 多场耦合作用下重金属离子在黏土中的迁移性状试验研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(12): 1371~1375.
- [20] 韩立华, 刘松玉, 杜延军. 一种检测污染土的新方法——电阻率法[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(8): 1028~1032.
- [21] 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.
- [22] 张建红, 胡黎明. 重金属离子和 LNAPLs 在非饱和土中的运移规律研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(2): 277~280.
- [23] 韦朝阳, 陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1196~1203.
- [24] 张可能, 田庆余, 邓飞跃, 陈永贵. 土柱试验研究黏土固化灌浆帷幕的阻滞性能[J]. 中南大学学报, 2004, 35(3): 469~473.