

文章编号:1001-4888(2016)04-0557-07

冰冻作用对固化污泥强度及变形特性影响^{*}

胡学涛^{1,2}, 梁冰¹, 陈亿军², 曾刚², 王士权²

(1. 辽宁工程技术大学 力学与工程学院, 辽宁阜新 123000;

2. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北武汉 430071)

摘要: 冻融作用会引起固化污泥的破坏, 威胁工程体的稳定性。本文在封闭系统下, 对固化污泥进行冻融试验, 研究了不同冰冻发生时间及不同冻结时间对固化污泥抗压强度及变形特性的影响, 并根据试验结果选取试样进行电镜扫描。研究表明: 冻融作用对固化污泥的强度及变形特性影响很大, 且源于冻融作用对固化污泥微观结构的影响; 冰冻发生时间越早, 水化程度越低, 颗粒粘结越弱, 固化体整体性越差, 强度越低, 冻融作用引起的强度衰减越大, 固化体呈现塑性破坏; 冰冻时间越长, 引起的强度破坏越大, 但强度衰减率随时间增加较小。上述研究成果可为寒区污泥固化填埋的安全处理提供技术参数及指导。

关键词: 固化污泥; 冻融; 抗压强度; 变形; 冰冻时间

中图分类号: TU411 文献标识码: A DOI: 10.7520/1001-4888-15-188

0 引言

污泥是污水处理厂在处理污水过程中产生的含有大量氮磷等营养素、病原微生物及有机污染物质等的沉积物, 由于颗粒细小、有机质含量高, 污泥含水率很高且不易脱水, 力学性质极差。近年来, 随着对污水处理要求越来越高以及污水处理技术的不断提升, 污水处理能力也快速提高, 污水处理厂污泥产量不断增加, 市政污泥的处理处置问题日益突出。污泥卫生填埋由于投资少、容量大、处理快等优点^[1], 目前仍是我国污泥处理最为常用的方法^[2], 而且在未来很长一段时间内仍将是主要的污泥处置方法。经过污水处理厂脱水处理后的污泥, 其含水率仍然高达 75% 以上, 无法达到直接填埋处置要求, 须用水泥、石灰等无机胶凝材料对污泥进行固化处理^[3], 以改善污泥的物理力学特性。

冻融作用广泛存在于自然界中, 在世界上很多地方及我国北方大部分地区的污泥固化体便处于冻融作用环境中^[4]。很多学者对原状粘土^[5,6]、盐碱土^[7]、重塑土^[8,9]、软土^[10]及石灰改性土^[11]、水泥改性土^[12,13]、粉煤灰改性土^[14]等进行了大量研究, 这些研究多注重冻融循环次数对固化体的影响, 研究结果说明冻融行为对工程体物理力学特性产生了很大的作用。然而针对污泥受冻融作用的研究很少, H. K. Moo-Young 等^[15,16]研究了冻融循环作用对利用造纸厂污泥做填埋场覆盖材料的渗透系数的影响规律, 但其仅关注了污泥的渗透特性且污泥经压实处理而未经固化处理。李亚林^[17]将固化过程与脱水过程同步得到低含水率(50%)的污泥, 参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082-2009)中的快冻法, 将试样冰冻后浸于水中融化, 进行冻融循环作用研究, 在冻融过程中有补水情况研究冻融循环作用对不同龄期污泥抗压及抗剪强度的影响。

有关土受冻融作用的研究注重冻融循环次数^[18]对于固化体的影响, 也有考察不同冰冻温度^[19]、温

* 收稿日期: 2015-10-12; 修回日期: 2016-01-20

基金项目: 中科院院地合作项目, 中国科学院学科交叉与合作创新团队项目(文件号: 人字(2013)47 号)

通讯作者: 梁冰(1962-), 女, 博士, 教授, 主要从事工程力学方面的研究。Email: lbwqx@163.com

度梯度^[12,18]及不同融化温度^[20]对冻融循环作用的影响,而对于工程体受冰冻作用的发生及作用时间的影响却鲜少报道,但冰冻作用发生及持续时间对固化污泥特性会产生明显影响^[21],因此有必要考察冻融过程中冰冻发生及作用时间对固化污泥工程体力学强度及变形特性的影响。填埋场底部有防渗膜防渗,填埋处置的污泥固化体不会从地下水中获得补给水,受天气影响及污泥填埋工程特点,寒区填埋处置的固化污泥受冰冻作用具有不同同时性,会导致填埋污泥固化体内部出现非均质性,影响其抗压及渗透特性,进而影响固化体的整体安全性。因此,本文在无补水条件下对污水处理厂污泥(含水率75%~80%)固化后进行冻融试验,考虑冻融循环过程中冰冻发生时间和冰冻时间对固化污泥特性的影响,结合微观结构特性分析固化污泥在冻融作用下抗压强度及变形特性的规律及机理,为污泥固化填埋的安全处理处置提供技术参数。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验中采用的污泥取自湖北省武汉市某污水处理厂经过机械脱水处理后的污泥,污泥的基本物理性质指标依据土工试验方法标准(CB/T 50123-1999)测得,含水率用鼓风烘箱烘干法测得,有机质用马弗炉灼烧的方法测得,比重是根据土粒比重试验用比重瓶法(中性液体使用煤油)测得,pH值用精度为0.01的pH计测定,液塑限通过界限含水率试验测得,重金属含量用Niton XL 2高精度环境重金属监测分析仪测得,各基本物理性质指标参数如表1。

试验中用来固化污泥的固化剂为自主配置的无机胶凝固化材料,主要成分有硫酸铝钙、硅酸二钙、硅酸三钙、氧化钙、石膏等。

表1 污泥基本物理性质指标

Tab.1 Physical characteristics of sewage sludge

含固率 (%)	土工含 水率(%)	有机质 (%)	密度 (g/cm ³)	比重	pH	液限 (%)	塑限 (%)	Pb	Zn	Cu	Cr	Cd	As	Ni	Hg
(mg/kg)															
22.9	336.7	41.5	1.12	1.61	7.8	281.4	46.3	30	3002	278	186	19	23	96.5	13.8

1.2 试验方法与步骤

结合工程情况,选择脱水污泥与固化剂按质量比为100:20的配比进行固化。污泥固化过程试样制备步骤为:首先按设计比例称量好污泥,然后向其中添加固化剂,手动搅拌均匀后,再用水泥胶砂搅拌机先慢搅2min后快搅2min至均匀,然后将试样填入50mm×50mm的环刀。对于冰冻作用时间发生于0d的试样,做好试样后即脱模并用薄膜包裹置于恒温冷冻室中;对于冰冻发生于1d、3d、7d、14d的试样,先将试样置于温度为20±2℃、相对湿度95%的养护箱中进行标准养护,于1d后脱模并用薄膜封闭后在养护箱中继续养护至相应试样龄期,在封闭系统(无补水)情况下进行固化污泥的冻融试验。冰冻过程在冰冻室中完成,冰冻室温度稳定在-20℃,融化过程在温度为20±1℃、相对湿度95%的养护箱环境中进行。

以养护1d、3d、7d、14d、28d固化污泥作为参照,通过固化体的无侧限抗压强度作为评价指标,考察冻融作用过程中,不同冰冻发生时间(0d、1d、3d、7d、14d)及不同冰冻时间(1d、3d、7d、14d)对固化污泥特性的影响,并根据试验结果选择试样进行扫描电镜试验。

2 试验结果与分析

试验中用到的固化剂主要成分有硫酸铝钙、硅酸二钙、硅酸三钙、氧化钙、石膏等,与污泥混合后与其中的水发生胶凝反应,生成水化硅酸钙(C-S-H)胶体和钙矾石等水化产物。主要反应原理如下:





$C_4A_3\bar{S}$ 和 C_3S 水化速度快, 早期就有较大强度^[22], C_2S 水化速度较慢, 后期强度较高。固化污泥的强度, 主要由水化产物 C-S-H(水化硅酸钙)和 AFt(钙矾石)提供。

2.1 冻融作用后固化污泥微观结构特性

选择养护 0d 和 14d 后固化 1d 的固化污泥(分别表示为 0d1, 14d1)及养护 28d 的固化污泥采用冷冻干燥技术后进行扫描电镜研究, 得到图 1。如图 1(c)所示, 养护 28d 的固化污泥结构紧密均一, 水化胶凝产物多而密集, 与污泥颗粒粘结紧密规整, 整体性很好; 图 1(b)中, 冰冻发生于 14d 的固化污泥, 也有明显较多的水化产物, 与 28d 未经冰冻作用的固化污泥相比, 有较为明显的结构上的疏松断裂点; 图 1(a)中, 冰冻发生于 0d 的固化污泥, 水化胶凝产物明显较(b)(c)图中少, 且污泥颗粒明显裸露, 污泥颗粒与胶凝产物粘结很少, 固化体结构呈现堆积松散状态而非整体状态。

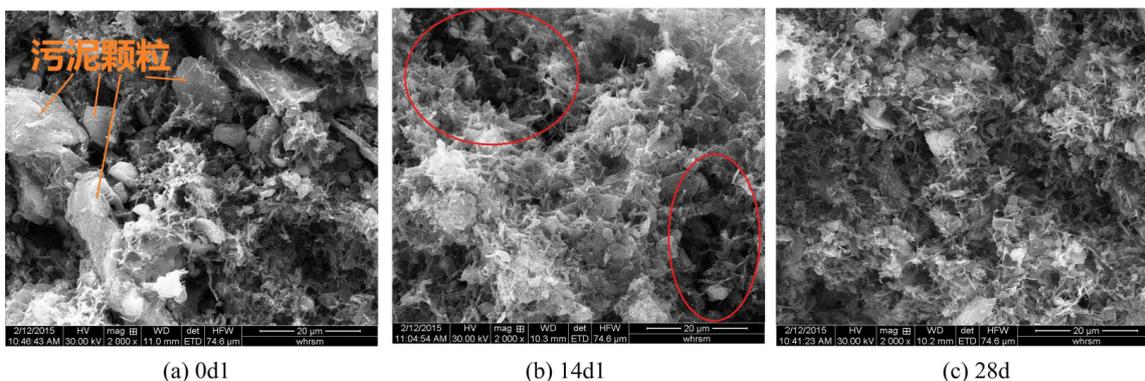


图 1 不同冻融作用情况下固化污泥的扫描电镜图

Fig. 1 Scanning electron microscopy photographs for solidified sludge in different FTA

2.2 冰冻发生时间对固化污泥强度的影响

如图 2 所示, 固化污泥在标准养护情况下, 7d 内强度迅速增长并达到最大值, 7d 后强度基本稳定, 这主要是固化剂成分中含有硫铝酸基成分, 硫铝酸基胶凝材料具有早强特性, 因此养护 1d 后的固化污泥强度已经基本达到 28d 强度的 90%。

从图 3 中可以看出, 未经养护的固化体(0d 开始冰冻)受冰冻作用影响最大, 强度最低; 其次是养护 1d 后进行冻融的固化污泥, 强度仅高于养护 0d 后进行冻融的固化污泥; 强度最高的是养护 7d 后进行冻融作用的固化污泥。与图 2 中标准养护的固化污泥强度进行对比后发现, 经冻融作用后的固化污泥强度与冻融前固化污泥的强度具有一致性, 发生冰冻时, 固化污泥强度越高, 经冻融作用后则强度也越高。

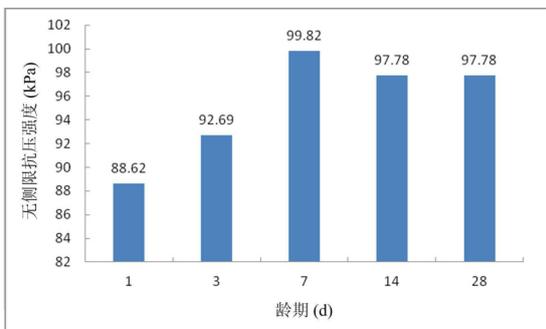


图 2 固化污泥无侧限抗压强度随龄期变化曲线
Fig. 2 Curves of unconfined compressive strength of the solidified sludge and curing time

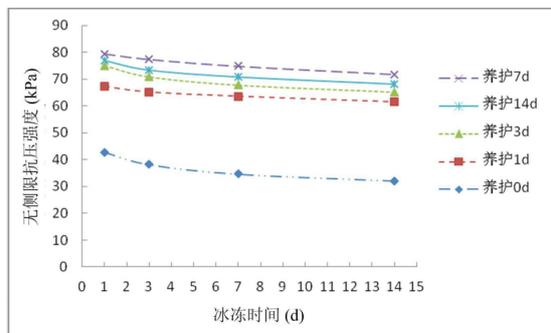


图 3 不同冻融发生时间固化污泥强度曲线
Fig. 3 Curves of unconfined compressive strength in different occurrence time of freezing

将固化污泥经过冻融作用前后强度的差值与冰冻前强度的比值结果绘制于图 4 中(其中冰冻发生

于0d的固化污泥强度衰减百分比是固化污泥冻融后的强度与固化污泥28d强度的比值),可以发现,在冰冻时间相同的情况下,冻融作用发生在0d时引起的固化污泥强度衰减最大,而在其他冰冻开始发生时间下,固化污泥强度衰减幅度相近。

固化污泥受冻融作用后出现强度衰减,主要有两方面原因:一方面,随着温度不断降低,固化污泥内的自由水和毛细水逐渐由液态向固态发展,固化体试样冰冻过程和固化剂水化反应过程同时进行,随着温度降低,固化污泥内水不断结成冰,固化剂水化反应速率减慢^[23],水化程度降低(从图1(a)中可以看出),导致强度增长受阻;另一方面,在冰冻过程中,水结成冰时体积发生膨胀,引起水化反应已经形成的胶凝颗粒和污泥固体颗粒发生位移,破坏了污泥颗粒和水化产物之间的胶结作用及水化产物形成的网状骨架结构(从图1(b)中可以看出)。冰冻发生于0d的固化污泥,水化反应还未完全,已经发生水化反应生成的胶凝产物数量少,还未形成整体,形成的空间骨架结构脆弱,受水结冰体积膨胀的影响很容易被破坏,导致冰冻发生于0d的固化污泥强度最低,强度衰减度最大;以养护14d后冰冻1d试样的扫描电镜图为例(如图1(b)),养护1d、3d、7d、14d的固化污泥经冻融后强度比发生于0d的冻融作用高很多,强度衰减程度比较接近,主要是冰冻过程中水结冰膨胀引起的,但由于固化剂水化反应速度很快,水化产物之间粘结已经很强,固化体颗粒之间已经形成整体性结构,因此受到的破坏较小。

结合前面的分析,同时对比固化污泥微观结构图1(a)和(b)可发现,冰冻发生时间对固化污泥强度的影响主要受冰冻时水化反应程度控制,在水化反应达到一定程度前,水化胶凝产物较少、尚未形成整体结构,与无机颗粒的粘结面小,冰冻发生时间对固化污泥强度影响很大,冰冻发生时间越早,冻融作用的破坏性越强;而在水化反应达到一定程度后,水化胶凝产物增多、形成较为稳固的整体结构,冰冻发生时间对固化污泥强度的影响则较小,此时的固化污泥受冰冻作用后的破坏性较小。

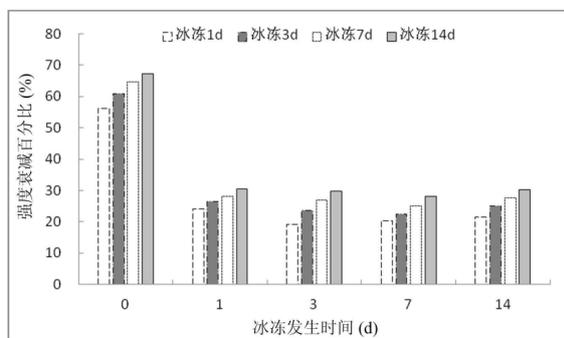


图4 冻融作用引起固化污泥强度衰减情况

Fig. 4 The strength loss ratio of solidified sludge in FTC

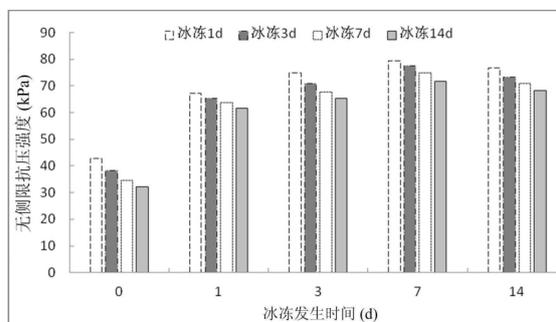


图5 不同冰冻时间固化污泥强度

Fig. 5 Unconfined compressive strength in different duration time of freezing

2.3 冰冻作用时间对固化污泥强度影响

如图5所示,对于养护不同时间(0d、1d、3d、7d、14d)的固化污泥经过冰冻作用融化后,强度均随着冰冻时间的增长而降低,但是降幅不大。如图4,随着冰冻时间的增长,固化污泥强度衰减百分比逐渐增大,但只是略微增长。

在冰冻过程中,随着温度降低,水化反应速率降低,故冰冻时间越长,水化反应程度越低,在溶化后养护的时间也越短,于是在相同时间发生冰冻的固化污泥强度随着冰冻作用时间的增长而降低,强度衰减率增大。

比较固化污泥微观结构图1(b)和(c),可以发现,冰冻时间对固化污泥强度的影响,主要是随着冰冻时间的增长引起固化体整体结构的破坏,水结冰体积增加9%,增长有限,同时受水量控制,体积增长程度有限,引起的强度衰减程度有限,故冰冻时间的增长对固化污泥的破坏作用较弱,所以随着冰冻时间的增长,固化污泥强度衰减程度只是略微增大。

2.4 冻融作用对固化污泥变形特性的影响

根据无侧限抗压强度试验,可以绘制得到污泥及固化污泥的应力应变($\sigma-\epsilon$)曲线,选取养护不同时间后冰冻1d的试样及原污泥试样的应力应变曲线如图6。从图中可以看出,未固化市政污泥强度很

低,随着轴向压力的增大,其应力应变关系曲线表现出塑性破坏,这与市政污泥含固率低及有机质含量高形态呈果冻状有关,从而表现出在外力作用下迅速发生变形的特性;而经过固化处理的污泥在0d即发生冰冻的情况下,应力应变曲线同样呈现出塑性破坏,而养护1d、3d、7d、17d的固化污泥经过冰冻后,应力应变曲线呈软化型,表现出脆性破坏,这一明显的转折可以从固化污泥的结构性来解释。如图1(a),0d发生冰冻的固化污泥,固化剂水化反应的程度受到限制,水化产物很少,固化污泥颗粒间的粘结很弱,水化反应刚刚形成的骨架结构整体性还很差,骨架强度小,抗压强度较小,在水结冰过程膨胀力的作用下很容易被破坏,从而表现出塑性破坏;当养护了一段时间后,水化胶凝产物在固化体中形成较好的空间网状结构,形成整体,骨架强度较高,固化污泥抗膨胀力的能力增强,抗压强度较大,在抗压时,就表现出较高强度的脆性特征。

从应力应变曲线可以看出,随着冰冻发生时间的增长,经过冻融作用的固化污泥变形形式逐渐从塑性破坏转变成脆性破坏,可见,在固化污泥养护过程中,存在一个整体结构形成的转折点。比较图1(a)和(b)可以知道,这个整体结构主要靠水化反应产物的粘结作用形成。

3 结论

本文主要结论如下:

(1) 冻融循环作用过程中,冰冻发生时间及冰冻时间均会对固化污泥力学特性发生作用,产生影响。冰冻发生时间越早,冰冻时间越长,对固化污泥的破坏作用越大。

(2) 冻融作用对固化污泥影响的大小与冰冻时固化污泥强度有关,强度越大,受冻融作用后的破坏越小;固化污泥受冰冻发生时间的影响与水化反应的程度有关,在水化反应形成整体结构之前,冻融作用对固化污泥的破坏性更大,此时的变形呈塑性破坏。因此在工程中,应保证在严寒天气之前让固化污泥形成整体结构性达到最大强度。

(3) 本文考虑了冰冻发生时间和冰冻时间对固化污泥力学及变形特性的影响,但冻融循环次数、温度梯度、不同固化剂等均会对冻融作用产生影响,相关内容还需要更多更深入的研究。

参考文献:

- [1] 马建立, 赵有才, 张华 等. 城市污水处理厂不同性状污泥填埋工艺的试验研究[J]. 给水排水, 2007, 33(10):50-53 (MA Jianli, ZHAO Youcai, ZHANG Hua, et al. Research on methods of sludge disposal by landfill for urban wastewater treatment plants[J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(10):50-53(in Chinese))
- [2] 崔广强, 常方强. 垃圾焚烧底灰固化污水厂污泥的岩土工程性质实验[J]. 环境工程学报, 2013, 7(6):2367-2370 (CUI Guangqiang, CHANG Fangqiang. Test of geotechnical engineering parameters of sewage sludge solidified by municipal solid waste incineration bottom ash[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(6):2367-2370(in Chinese))
- [3] 曹永华, 闫澍旺, 赵乐军. 固化污泥的工程性质及微观结构特征[J]. 岩土力学, 2006, 27(5):740-744 (CAO Yonghua, YAN Shuwang, ZHAO Lejun. Engineering properties and microstructure feature of solidified sludge [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(5):740-744(in Chinese))
- [4] 齐吉琳, 马巍. 冻土的力学性质及研究现状[J]. 岩土力学, 2010, 31(1):133-143 (QI Jilin, MA Wei. State-of-art of research on mechanical properties of frozen soils[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(1):133-143(in Chinese))

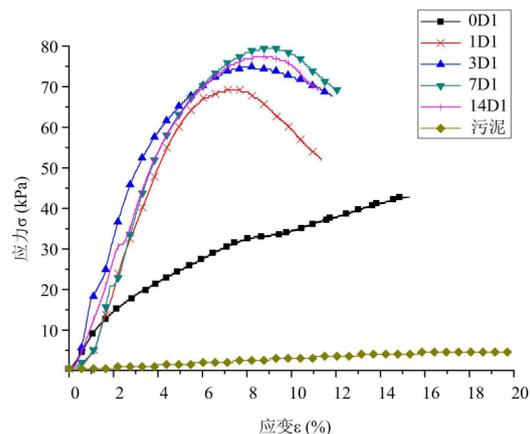


图6 固化污泥应力应变曲线
Fig. 6 Relationship between stress and strain of solidified sludge

- [5] Graham J, Au V C S. Effects of freeze-thaw and softening on a natural clay at low stresses[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1985, 22(1):69-78.
- [6] 赵刚, 陶夏新, 刘兵. 原状土冻融过程中水分迁移试验研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(12):1952-1957 (ZHAO Gang, TAO Xiaxin, LIU Bing. Experimental study on water migration in undisturbed soil during freezing and thawing process[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(12):1952-1957(in Chinese))
- [7] Ilker Angin, Ekrem L Aksakal, Taskin Oztas, et al. Effects of municipal solid waste compost (MSWC) application on certain physical properties of soils subjected to freeze-thaw[J]. Soil & Tillage Research, 2013, 130: 58-61.
- [8] 齐吉林, 马巍. 冻融作用对超固结土强度的影响[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(12):2082-2086 (QI Jilin, MA Wei. Influence of freezing-thawing on strength of overconsolidated soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(12):1952-1957(in Chinese))
- [9] 方丽莉, 齐吉林, 马巍. 冻融作用对土结构性的影响及其导致的强度变化[J]. 冰川冻土, 2012, 34(2):435-440 (FANG Lili, QI Jilin, MA Wei. Freeze-thaw induced changes in soil structure and its relationship with variations in strength[J]. Journal of Glaciology and Geocryology[J]. 2012, 34(2):435-440(in Chinese))
- [10] TANG Yiqun, YAN Jingjing. Effect of freeze-thaw on hydraulic conductivity and microstructure of soft soil in Shanghai area[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73:7679-7690.
- [11] 马巍, 徐学祖, 张立新. 冻融循环对石灰粉土剪切强度特性的影响[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(2):158-160 (MA Wei, XU Xuezu, ZHANG Lixin. Influence of frost and thaw cycles on shear strength of lime silt[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(2):158-160(in Chinese))
- [12] 王天亮, 刘建坤, 田亚护. 冻融作用下水泥及石灰改良土静力特性研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(1):193-198 (WANG Tianliang, LIU Jiankun, TIAN Yahu. Static properties of cement- and lime-modified soil subjected to freeze-thaw cycles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(1):193-198(in Chinese))
- [13] 王天亮, 刘建坤, 田亚护. 水泥及石灰改良土冻融循环后的动力特性研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(11):1733-1737 (WANG Tianliang, LIU Jiankun, TIAN Yahu. Dynamic properties of cement- and lime-improved soil subjected to freeze-thaw cycles [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(11):1733-1737(in Chinese))
- [14] 王东星, 徐卫亚. 大掺量粉煤灰淤泥固化土的强度与耐久性研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(12):3659-3664 (WANG Dongxing, XU Weiya. Research on strength and durability of sediments solidified with high volume fly ash[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(12):3659-3664(in Chinese))
- [15] Moo-Young H K, Zimmie T F. Effects of freezing and thawing on the hydraulic conductivity of paper mill sludges used as landfill covers[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1996, 33(5):783-792.
- [16] Moo-Young H K, Zimmie T F. Geotechnical prooerties of paper mill sludges for ues in landfill covers[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1996, 122(9):768-774.
- [17] 李亚林. 基于骨架构建体污泥固化填埋及长期稳定性研究[D]. 华中科技大学博士论文, 2013 (LI Yalin. Study on landfill and durability of sewage sludge solidified with skeleton builders[D]. Huazhong University of Science and Technology, 2013(in Chinese))
- [18] 于琳琳, 徐学燕, 邱明国 等. 冻融作用对饱和粉质黏土抗剪性能的影响[J]. 岩土力学, 2010, 31(8):2448-2452 (YU Linlin, XU Xueyan, QIU Mingguo, et al. Influnce of freeze-thaw on shear strength properties of saturated silty clay [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(8):2448-2452(in Chinese))
- [19] 董连成, 张公, 赵淑萍 等. 冻土蠕变指标试验研究[J]. 冰川冻土, 2014, 36(1):130-136 (DONG Liancheng, ZHANG Gong, ZHAO Shuping, et al. Experimental study of the creep indexes of frozen soil [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(1):130-136(in Chinese))
- [20] 王效宾, 杨平, 王海波 等. 冻融作用对黏土力学性能影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(11):1768-1772 (WANG Xiaobin, YANG Ping, WANG Haibo, et al. Experimental study on effects of freezing and thawing on mechanical properties of clay [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(11):1768-1772(in Chinese))
- [21] 陈川, 王起才, 张戎令 等. 持续低温环境下的水泥水化特性试验研究[J]. 混凝土, 2014(8):74-77 (CHEN Chuan, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Experimental study on hydration characteristics of cement paste

- considering the effect of sustained low temperature[J]. Concrete, 2014(8):74—77(in Chinese))
- [22] Luz C A, Rocha J C, Cheriaf M, et al. Use of sulfoaluminate cement and bottom ash in the solidification stabilization of galvanic sludge[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006,136(3):837—845.
- [23] 何忠茂, 巴恒静, 王岩. 负温下水泥水化热力学模型的研究与论证[J]. 材料科学与工艺, 2005, 13(4):435—438 (HE Zhongmao, BA Hengjing, WANG Yan. Research and argument on the thermodynamic model of cement hydration at minus temperature[J]. Materials Sciences & Technology, 2005, 13(4):435—438(in Chinese))

Study of the Influence of Freezing and Thawing on Strength and Deformation Properties of Solidified Sewage Sludge

HU Xue-tao^{1,2}, LIANG Bing¹, CHEN Yi-jun², ZENG Gang², WANG Shi-quan²

(1. Institute of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: Freezing and thawing action(FTA) can cause destruction of solidified sludge and threaten the stability of engineering body. Solidified sludge freezing and thawing experiment was conducted in a closed system. The influence of different freezing occurrence time and different freezing duration time on the compression strength and deformation characteristics of solidified sludge was studied and scanning electron microscope (SEM) detection was also conducted for selected samples from experimental results. Results show that the influence of freezing and thawing action on the strength and deformation properties of solidified sludge is very obvious due to FTA changes the microscopic structure of solidified sludge. The earlier the freezing occurrence time is, the lower the hydration degree, and the weaker the particle bonding, and the worse the integrity of solidified body, and the lower the strength, and the larger the strength attenuation is, and the solidified body presents plastic destruction; the longer freezing duration time is, the greater the strength damage caused, but the less of increase of strength attenuation. Above results may provide parameters and guiding for safely landfilling of solidified sludge in cold regions.

Keywords: solidified sludge; freezing and thawing; compression strength; deformation; freezing duration time