

文章编号: 2095—0411 (2014) 02 - 0066 - 04

固化淤泥土压缩性试验研究^{*}

夏 雄¹, 徐 璜¹, 胡 坤¹, 徐汉东², 奚赛英³

(1. 常州大学 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164; 2. 江苏鼎达建筑新技术有限公司, 江苏 常州 213015; 3. 常州市规划设计院, 江苏 常州 213003)

摘要: 淤泥由于含水率高强度低, 无法直接作为工程用土。对淤泥进行固化处理, 可以实现废弃淤泥的资源化利用。选择常州市武进区废弃淤泥作为研究对象, 利用 42.5 普通硅酸盐水泥作为固化添加剂, 通过固化淤泥的单向压缩试验, 探讨 4 种水泥参量变化条件下共 24 个试样的压缩变化机理, 描述水泥添加量对压缩模量的影响, 分析其影响规律。通过试验对比分析, 可知: 同一含水率下, 淤泥随着水泥参量的增加, 试样压缩性减小; 各试样在压缩试验过程中, 其压缩变形规律基本一致, 荷载达到 200kPa 时, 其压缩性趋于稳定; 随着固结压力的不断增加, 沉降变形量逐渐减缓, 最后趋于收敛; 随着水泥参量的增加, 同一应力条件下, 试样稳定需要的时间缩短; 淤泥固化效果在水泥参量接近 50% 时较优, 超过此数值, 强度虽提高, 固化工作经济效益降低。

关键词: 淤泥土; 固化; 压缩模量; 单向压缩试验

中图分类号: TU 521.3

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095—0411.2014.02.016

An Experimental Study on the Compression of Solidified Sludge

XIA Xiong¹, XU Huang¹, HU Kun¹, XU Han-dong², XI Sai-ying³

(1. School of Environment and Safety Engineering of Changzhou University, Changzhou 213164, China;
2. Jiangsu Dinda Construction and New Technology Corporation, Changzhou 213015, China;
3. Changzhou city Planning and Design Institute, Changzhou 213003, China)

Abstract: Because of its high moisture content and low strength, sludge can not be used directly in engineering. The solidification treatment of sludge would enable the utilization of sludge, turning a waste material into useful resource. The sludge was chosen from Wujin district in Changzhou as an object of study. By using ordinary silicate cement as a curing additive, through one - way compression tests, the compression mechanism of 4 kinds of cement parameter variation for 24 samples were explored, the impact of cement content on the compression modules was described, and the rule to get the basic experimental data for engineering and scientific research were analyzed. A comparative analysis of the experiment indicates that, with the same water content, the sludge sample's compressibility decreases with the increase of cement parameters; the sample's compression deformation rate remain consistent in the process of compression tests; when loading up to 200kPa, its compression is more stable; as the solidification pressure increases, the settlement deformation rate gradually slows down, and finally it tends to converge; with the increase of cement parameters, under the same stress condition, the time for the sample stability becomes

^{*} 收稿日期: 2013 - 09 - 10。

基金项目: 常州市科技局研究基金 (CE20135038); 江苏鼎达应用研究基金 (KYH1202162)。

作者简介: 夏雄 (1972—), 男, 四川成都人, 博士, 副教授, 主要从事环境岩土教学和科研工作研究。

shortened; the optimal result of sludge solidification is acquired when the cement reaches up to 50%. A higher content of cement would increase the strength but decrease the economic benefits in engineering.

Key words: sludge; solidify; compression modulus; unidirectional compression test

淤泥指的是在静水和缓慢的流水环境中沉积, 经物理化学和生物化学作用形成的, 未固结的软弱细粒或极细粒土, 属现代新近沉积物。淤泥具有含水率高、孔隙比大、压缩性高、强度低的特性^[1]。近年来, 随着淤泥产生的增加, 抛泥越来越多。把淤泥抛弃于海洋或陆地, 不仅会对周围环境造成巨大破坏, 而且抛泥于陆地上还会占用大量宝贵的土地资源^[2]。淤泥固化资源化利用是当今世界上解决大数量淤泥出路的一种方法, 被发达国家广泛采用, 是一种既环保又节约, 符合循环经济, 可持续发展的先进方法。固化处理方法是向淤泥中添加固化材料, 淤泥中的水和粘土矿物与固化材料进行一系列的物理化学反应从而改善了淤泥的工程性质。该处理方法既能消耗大量产生的淤泥, 又解决了部分地区工程用土短缺的问题, 具有处理量大、处理时间短的优点^[3]。在水泥添加量对土力学性质的影响方面: 前人通过对同一淤泥进行不同水泥掺加量的固化处理, 研究水泥掺加量对固化淤泥强度的影响^[4]。研究结果表明水泥掺加量存在一个最低值, 当水泥掺加量小于这个最低掺加量时, 水泥对于淤泥就没有固化效果, 在含水量对固化土的力学性质的影响方面, 前人通过试验研究了土中含水量对固化土力学性质的影响, 研究表明随土中含水量的增加, 固化土强度会呈下降趋势。《地基处理手册》^[5]中给出: 土样含水率每降低 10%, 水泥土的无侧限抗压强度大约提高 10%~30%。李磊, 朱伟, 赵健^[6], Harris^[7], LaGrega^[8], Hills C. D^[9]研究了固化土的二次污染问题, 其指出固化处理可以减缓疏浚淤泥中污染物的溶出速率, 对周围环境的二次污染要远远小于未经处理的疏浚淤泥, 但是要注意选择二次污染小的固化材料。渗透系数是控制疏浚淤泥二次污染的重要因素, 降低渗透系数可以减少疏浚淤泥的二次污染。

本文在广泛收集和掌握淤泥固化资料的基础上, 选择常州市武进区废弃淤泥作为研究对象, 利用普通硅酸盐水泥作为固化添加剂, 通过固化淤泥的单向压缩试验, 探讨了 4 种水泥参量变化条件下共 24 个试样的压缩变化机理, 描述了水泥添加量对压缩模量的影响, 分析其影响规律, 以获得淤泥固化的基本试验数据。

1 试验设计

试验所用的淤泥取自江苏省常州市武进污水处理厂淤泥堆场, 取泥后置入塑料桶中封存以保持其原始含水率, 然后运至常州大学土工实验室进行室内试验, 测定各项基本物理性质指标。选择水泥为固化材料, 对土样固化后进行单向压缩试验, 研究固化参量对淤泥固化效果, 尤其是压缩模量的影响。压缩试验参照国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 - 1999 的方法进行。该方法的试样为圆饼形, 底面积 $A=30.0$, 高 $H=2.0$, 体积 $V=60$ 。按照设计配比将水泥和淤泥混合, 经搅拌 10 分钟后, 将固化淤泥试样进入养护皿中养护。混合搅拌后淤泥和压缩试验如图 1 和图 2 所示。

试验中水泥添加量以水泥质量与天然淤泥质量比来控制, 在文中用表示水泥添加量; 同时土样的含水率用表示。

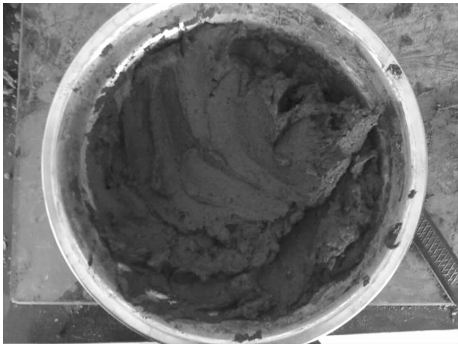


图 1 混合搅拌后淤泥
Fig. 1 Mixing sludge

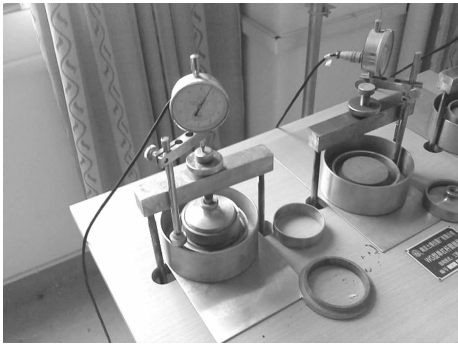


图 2 压缩试验
Fig. 2 Compression test

2 试验数据整理与分析

本研究中为了研究不同固化参量对淤泥固化效

果，尤其是压缩模量的影响。设定水泥添加量为变量，在含水量、养护龄期基本不变的情况下， c 分别为 30%、40%、50%、60% 进行试验，其对压缩模量影响关系曲线如图 3~图 6 所示。各组试样的初始孔隙率比见表 1。

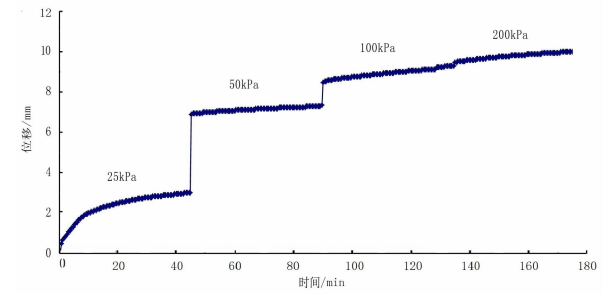


图 3 水泥参量 30% 试样压缩与时间关系曲线
Fig. 3 Curve of settlement & time (cement 30%)

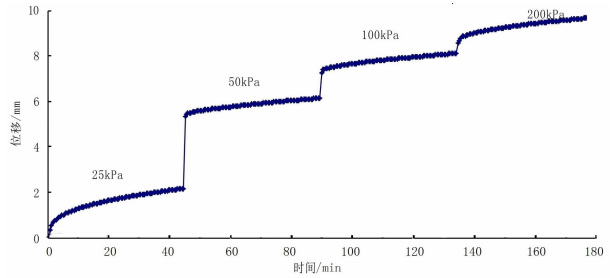


图 4 水泥参量 40% 试样压缩与时间关系曲线
Fig. 4 Curve of settlement & time (cement 40%)

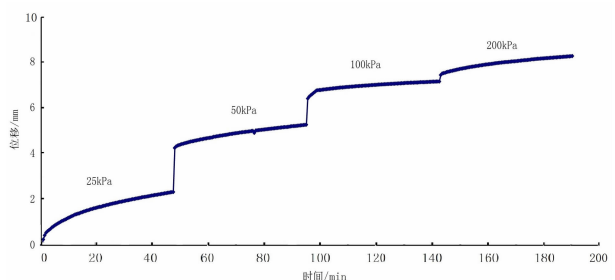


图 5 水泥参量 50% 试样压缩与时间关系曲线
Fig. 5 Curve of settlement & time (cement 50%)

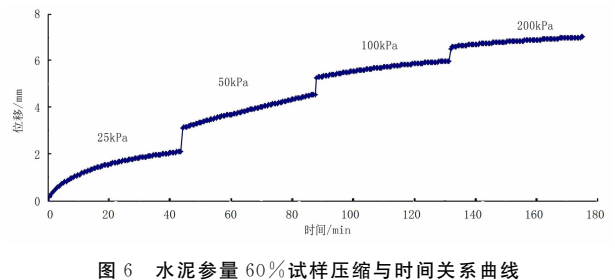


图 6 水泥参量 60% 试样压缩与时间关系曲线
Fig. 6 Curve of settlement & time (cement 60%)

表 1 各组试样的初始孔隙比记录表

Table 1 Record sheet of initial void ratio of samples

水泥参量	每种水泥参量下的 6 组平行试样的初始孔隙比 e_0					
30%	1.428	1.430	1.424	1.422	1.427	1.425
40%	1.405	1.408	1.396	1.399	1.410	1.394
50%	1.389	1.392	1.385	1.382	1.386	1.388
60%	1.374	1.370	1.372	1.380	1.377	1.376

通过上述 4 组试验对比分析，可知：同一含水率下，淤泥随着水泥参量的增加，试样压缩性减小；各试样在压缩试验过程中，其压缩变形规律基本一致，在荷载 25kPa 下，试样被压缩至稳定需要的时间较长，产生的位移较大，其变形量也较大；在荷载 50kPa、100kPa 下，试样被压缩至稳定需要的时间逐渐缩短，产生的位移逐渐减小，其变形量也逐渐减小；荷载达到 200kPa 时，其压缩性趋于稳定。随着固结压力的不断增加，沉降变形量逐渐减缓，最后趋于收敛；随着水泥参量的增加，同一应力条件下，试样稳定需要的时间缩短。

水泥参量和压缩系数的曲线关系如图 7 所示，由图可知，在同一含水率下压缩系数随水泥参量的增加而逐渐增大，并最终趋于一个稳定值。其关系曲线存在一个明显拐点，此时水泥参量为 50%，即水泥参量达到 50% 时压缩系数开始趋于稳定。按照指数函数拟合，变化规律可以用方程（1）表示：

$$\alpha = 1.21 - 2.919e^{\left(\frac{-C}{10.76}\right)} \quad (1)$$

式中， α —压缩系数， MPa^{-1} ； C —水泥参量，%。下同。

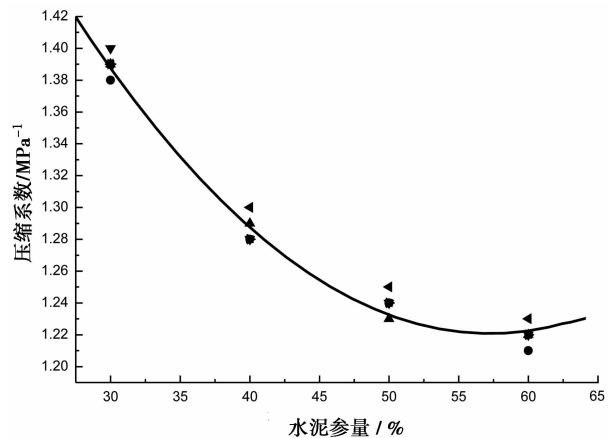


图 7 水泥参量和压缩系数的曲线关系
Fig. 7 Curve of compressibility coefficient & cement

水泥参量是固化淤泥设计的最重要的参数，其不仅影响着固化淤泥的强度和渗透性，也影响其压缩性。水泥参量和压缩模量的曲线关系如图 8 所

示，由图 8 可知，在同一含水率下压缩模量随水泥参量的增加而逐渐增大，并最终趋于一个稳定值。其关系曲线存在一个明显的拐点，此时水泥参量为 50%，即水泥参量达到 50% 时压缩模量开始趋于稳定。通过回顾单向压缩试验过程结合水泥参量与压缩模量的曲线关系得出结论：淤泥固化效果在水泥参量接近 50% 时较优。按照指数函数拟合，变化规律可以用方程（2）表示：

$$E_s = 1.962 - 3.02e^{\left(\frac{-C}{11.36}\right)} \quad (2)$$

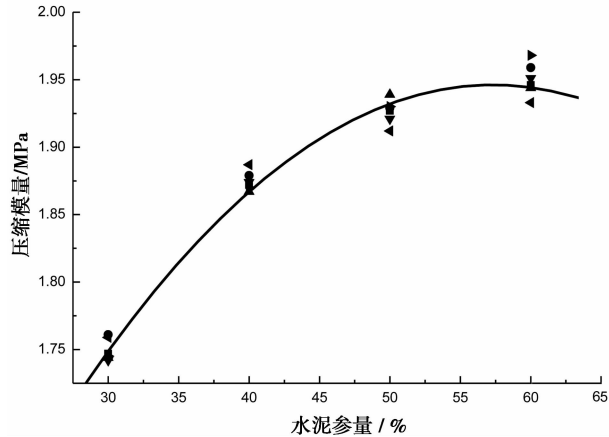


图 8 水泥参量和压缩模量的曲线关系

Fig. 8 Curve of compression modulus & cement

3 结 论

（1）同一含水率下，淤泥随着水泥参量的增加，试样压缩性减小；各试样在压缩试验过程中，其压缩变形规律基本一致，荷载达到 200kPa 时，其压缩性趋于稳定；

（2）随着固结压力的不断增加，沉降变形量逐渐减缓，最后趋于收敛；随着水泥参量的增加，同

一应力条件下，试样稳定需要的时间缩短；

（3）淤泥固化效果在水泥参量接近 50% 时较优，超过此数值，强度虽有提高，但是固化工作经济效益降低。

参考文献：

[1] 夏雄，董亮亮，张爱琴，等. 考虑气相堵塞的土样渗透试验分析 [J]. 常州大学学报：自然科学版，2012，24（1）：55 - 58.

[2] 虞志英，张勇. 疏浚物倾抛对海洋环境影响的研究评述 [J]. 海洋与湖沼，1999，30（4）：460 - 464.

[3] 朱伟，刘汉龙，高玉峰. 工程废弃土的再生资源利用技术 [J]. 再生资源研究，2001，18（6）：32 - 35.

[4] 范公俊. 固化淤泥的收缩性质及其控制措施研究 [D]. 南京：河海大学，2007.

[5] 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册（第二版）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2000.

[6] 李磊，朱伟，赵建，等. 西五里湖疏浚底泥资源化处理的二次污染问题研究 [J]. 河海大学学报：自然科学版，2005，33（2）：127 - 130.

[7] Harris M R, Herbert S M, Smith M A. Remedial treatment for contaminated land, Volume VII: Ex - situ remedial methods for sludges, sludges and sediments [M]. London: Construction Industry Research and Information Association Special Publication, 1995: 122 - 171.

[8] LaGrega M D, Buckingham P L, Evans J C. Hazardous Waste Management [M]. New York: McGraw Hill Higher Education, 1994: 641 - 704.

[9] Hills C D, Sollars C J, Koe L C, et al. A calorimetric study of the effect of organic compounds on the initial behaviour of cement - based solidified wastes [J]. Waste Management and Research, 1995, 13（1）：21 - 36.