

文章编号:1674-2869(2012)03-0022-05

淤泥材料化土松散团聚体击实后基本性质

桂跃¹, 常文清², 张庆¹

(昆明理工大学建工学院土木系, 云南昆明 650051; 上海同岩土木工程科技有限公司, 上海 200092)

摘要:材料化处理后的疏浚淤泥土主要由松散的土团聚体组成, 作为工程填土使用需先用外力使其密实。本文通过室内试验, 分析了淤泥材料化土松散团聚体击实后的基本性质, 包括土的干密度、孔隙比、饱和度, 及其分别与掺灰比、闷料期的关系。试验结果表明: 击实疏浚淤泥材料化土的干密度随着掺灰比的增大而增大, 随闷料期的延长而增大; 孔隙比随着掺灰比的增大而减小, 随着闷料期的增大而减小; 饱和度随着闷料期的变化不显著, 大部分达到 90% 以上。

关键词:疏浚淤泥; 材料化; 击实; 干密度; 孔隙比; 饱和度

中图分类号: TU447

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2012.03.006

0 引言

在港口工程、围垦工程、河湖清淤工程中会产生大量的疏浚淤泥, 这些淤泥含水率高、呈流态, 几乎没有强度, 如何处置是一个重要的问题^[1-2]。目前针对疏浚淤泥的处置方法主要是海洋抛淤和陆上堆填。海洋抛淤法会污染海洋环境, 越来越受到各方面的限制; 陆上堆填占用大量农田土地, 且容易污染周围环境。采用水泥为主的固化剂将疏浚淤泥进行固化后, 用于围堰填筑, 取得了废弃物资源化利用的良好效果。但需要指出的是, 固化淤泥要求一次成型, 需要专门的施工设备和搅拌技术才能达到, 这样就限制了淤泥固化处理技术在我国工程上的应用范围^[3]。

笔者所在课题组根据我国目前施工设备较为简单、施工技术水平较低的特点, 提出了利用生石灰将疏浚淤泥处理成一种松散良质填土材料的技

术, 目标是将其处理成用于对土的强度和变形的要求不高的填方工程使用的填土材料, 比如淤泥吹填堆场堆载预压施工的堆载用土、在堆场附近的施工便道及乡村的低等级公路填方用土等^[4-6]。淤泥材料化土是一种新型的填土资源, 它的物理力学性质、施工工艺以及评价标准均有待于进行系统的研究。本文通过室内试验, 研究了疏浚淤泥材料化土松散团聚体击实后的基本性质, 有助于将该技术推向工程实践。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

疏浚淤泥取至江苏省淮安市南水北调东线工程白马湖疏浚淤泥吹填堆场, 于实验室中对其物理性质指标进行了测试, 试验均按照《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 进行, 其基本物理性质指标见表 1。

表 1 白马湖疏浚淤泥的物理性质指标

Table 1 Summary of the physical properties of dredged material from Baima-hu Lake

重度/(kN/m ³)	相对密度	液限/%	塑限/%	粒组/%			有机质含量 w/%
				砂粒	粉粒	黏粒	
13.8	2.65	66.7	29.3	4.5	65.3	30.2	4.2

石灰产自南京市麒麟镇麒麟石灰厂, 是未消解的磨细生石灰, 氧化钙质量分数 89.2%, 氧化镁质量分数 2.3%, 属 II 级生石灰。储存生石灰过程中要特别注意密封保存, 避免与空气中的水分和

二氧化碳发生碳酸化反应, 导致有效氧化钙含量降低, 影响试验结果。

1.2 土样制备

试验用疏浚淤泥初始含水率、生石灰掺灰比

收稿日期: 2011-12-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51108217); 云南省科技厅应用基础研究计划项目(2011FZ047)

作者简介: 桂跃(1982-), 男, 江西临川人, 博士, 讲师。研究方向: 土力学与基础工程教学与科研工作。

及闷料期如表2所示. 试样的制备过程:先将疏浚淤泥用搅拌枪搅拌均匀,调配至预设初始含水率,取5 kg 倒入搅拌机中,再称取一定质量的固化剂倒入,搅拌10 min 至颜色均匀;将搅拌之后的泥灰

混合物进行制样,24 h 之后将制好的试样脱模并装入塑料袋中密封闷料,放置在养护室[$(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、湿度90%以上]内闷料至规定的龄期再进行测试.

表2 淤泥材料化试验方案

Table 2 Testing schemes of treated dredged sludge

疏浚淤泥初始含水率 $w_0/\%$		生石灰掺灰比 $a_c/\%$	闷料期 $d/\text{天}$
72.8	1.1 w_L	3,6,9,12 15,18,21,24	1,3,7,14,28
80.2	1.2 w_L		
92.6	1.4 w_L		

注:掺灰比为与淤泥质量百分比, w_L 为土的液限含水率.

1.3 试验方法

由于疏浚淤泥的初始含水率极高,淤泥材料化处理虽具有明显的减水作用,但处理后的淤泥材料化土的含水率依然较高,其击实不可简单的采用传统的石灰固化土的方法,而应该根据其含水比选择合适的击实冲量和击实功,如下^[7-8]:

a. 淤泥材料化土的击实方法可以按照土的含水比 w/w_p 的大小选择,当 $1.4 > w/w_p > 1.2$ 时,较适用超轻击实法;当 $1.2 > w/w_p > 1.0$ 时,较适用标轻击实;当 $w/w_p < 1.0$ 时,较适用标重击实;当 $w/w_p > 1.4$ 时,不适合用冲击击实方法击实.

b. 淤泥材料化土的击实评价方法可以根据击实功与土的干密度曲线变化趋势判断,当干密度曲线出现平缓之后稳定时,可认为材料化土已经

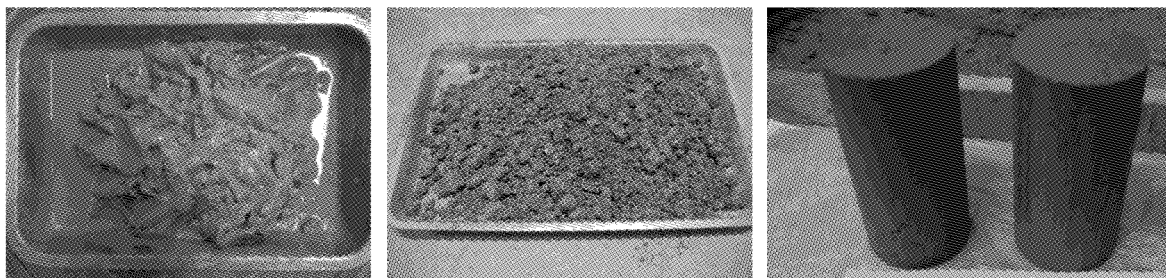
击实.

淤泥材料化土的击实室内试验采用改进的轻型击实仪,通过改变击锤落距获得较小击实冲量,改变击数获得不同击实功,具体已有相关文献报道,此处不再赘述. 后文材料化土的干密度、孔隙比、饱和度的确定方法均参照《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999).

2 试验结果及其分析

2.1 淤泥材料化土松散团聚体击实研究

在疏浚淤泥中添加生石灰进行材料化处理,发生干化和松散化,成为松散的土团聚体,如图1所示.

疏浚淤泥 ($w_0=72.8\%$)

土团聚体 (闷料期3天)

击实后的土试样

图1 松散淤泥材料化土及击实试样

Fig. 1 The photos loose lime-stabilized dredged sludge and the compacted specimens

松散的土团聚体只有击实成型,才能发挥承载的作用. 由不同粒径大小土团聚体组成的材料化土的击实,实质是土团聚体间的孔隙排除及团聚体本身变密实的过程. 松散状土的孔隙包括土团聚体内部的微孔隙及土团聚体间的大孔隙两种,受外力冲击时,土团聚体靠近,大孔隙基本消除,之后土团聚体中的微孔隙亦逐渐被压密,直至土中孔隙基本被排除,此时再进行夯实土的干密度提高却不明显,即存在“经济击实功”^[7]. 材料化土团聚体的击实模型如图2所示.

需要指出的是,疏浚淤泥的初始含水率极高导致淤泥材料化土的含水率依然较高. 然而淤泥材料化土的强度主要来源于化学反应导致的土颗粒胶结成的土骨架,类似于水泥固化淤泥土,而不像天然土的强度完全取决于土的密实度,因此不需要且在工程上很难做到大规模的将材料化土含水率降低至最优含水率状态后进行碾压密实,而是将自然状态下的淤泥材料化土松散团聚体击实至干密度增长“拐点”即可^[7].

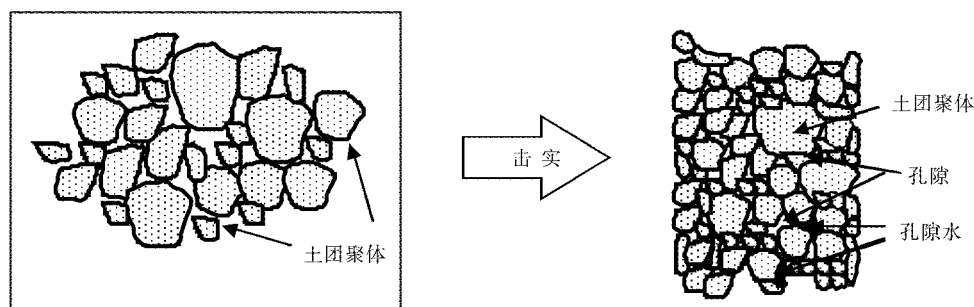


图 2 淤泥固化土团聚体的击实模型

Fig. 2 The compaction model of lime-stabilized dredged sludge

2.2 击实材料化土干密度、饱和度、孔隙比与掺灰比的关系

图 3 是闷料期 7 天、不同初始淤泥含水率的击实材料化土的干密度与生石灰掺灰比的关系。

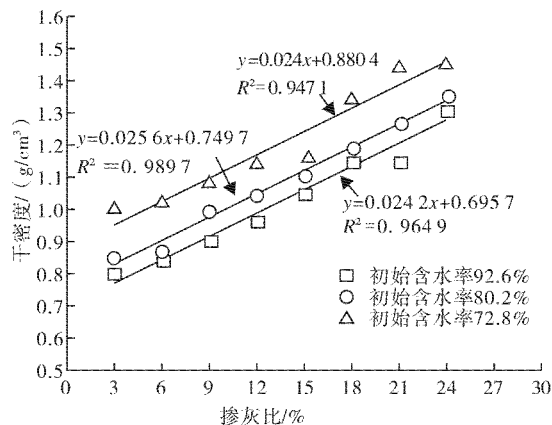


图 3 击实材料化土的干密度与掺灰比关系

Fig. 3 Relationship of dry unit weight of compacted lime-stabilized dredged sludge with the percent of stabilizer

从图 3 中可以看出,击实材料化土的干密度随着掺灰比的增大而增大,可以直观的看出,干密度与掺灰比有较好的相关性,拟合关系式如下:

$$w_0 = 72.8\% \quad \gamma_d = 0.024 a_c + 0.01 \quad R^2 = 0.95$$

$$w_0 = 80.2\% \quad \gamma_d = 0.026 a_c + 0.75 \quad R^2 = 0.99$$

$$w_0 = 92.6\% \quad \gamma_d = 0.024 a_c + 0.69 \quad R^2 = 0.96$$

由上述三组典型不同初始含水率的击实材料化土干密度与掺灰比的拟合关系式可知,击实材料化土的干密度与掺灰比关系可用 $\gamma_d = m a_c + n$ 表示. 实际工程中可以通过实测出几个掺灰比对应的干密度,计算得到常数 m 、 n ,就可以预测出任意掺灰比材料化土的干密度,可以减少击实试验而减少工作量。

在传统生石灰改性土的击实特性研究中,击实土的最大干密度和掺灰比的关系没有统一的规律. Ladd 等^[7]、Marks 和 Hallburton^[8]、F. G. Bell^[9] 均提出改性土的最大干密度随掺灰比增大而减小的规律;J. Osinubi 等^[10] 对比了掺灰比 0%、3%、5% 及 8% 生石灰改性粘土的最大干密度,发现除了掺

灰比 3% ~ 5% 段之外,其他的符合最大干密度随掺灰比增大而减小的规律;而 Bell 和 yrer^[11] 发现石灰处理高岭土的最大干密度随着掺灰比增大而增大. F. G. Bell^[9] 认为最大干密度的减小不仅和石灰比例有关,而且和改性土中粘土矿物比例有关. 击实材料化土的干密度随着掺灰比增大而增大,是由于掺灰比的增大使得淤泥的含水率降低显著,从而导致了击实材料化土的干密度增大。

图 4 是不同初始含水率、不同掺灰比的击实材料化土的孔隙比与掺灰比的关系,从图中可以看出,孔隙比随着掺灰比的增大而减小,主要原因是掺灰比越大的材料化土的含水率越小,即土中水所占的孔隙较小,故击实之后孔隙比越小。

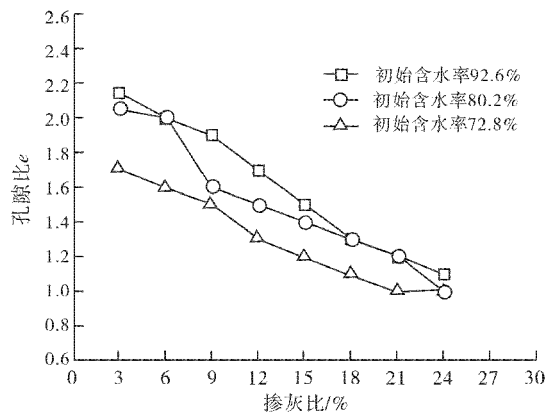


图 4 击实材料化土的孔隙比与掺灰比的关系

Fig. 4 Relationship of porosity ratio of compacted lime-stabilized dredged sludge with the percent of stabilizer

图 5 是不同初始含水率、不同掺灰比的击实材料化土的饱和度与掺灰比的关系,从图中可以看出,材料化土的饱和度随着掺灰比的变化不显著,且无论掺灰比大小,击实之后的材料化土饱和度大部分达到 90% 以上。

2.3 击实材料化土干密度、饱和度、孔隙比与闷料期的关系

材料化土的闷料期是从材料化剂均匀拌合入淤泥内后放置到碾压击实施工时中间的间隔时期。由于在淤泥中土和石灰的反应是一个和时间有关

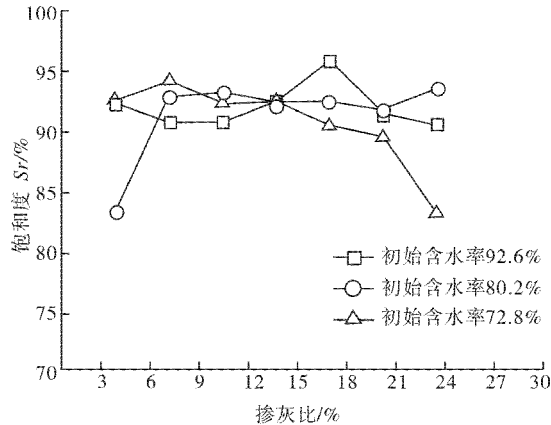


图5 击实材料化土的饱和度与掺灰比关系

Fig. 5 Relationship of saturation of compacted lime-stabilized dredged sludge with the percent of stabilizer

的反应进程,随着反应时间的延长,材料化土的土性逐步改善,因此闷料期对土性有显著的影响。

图6是不同初始含水率、不同掺灰比的击实材料化土的干密度与闷料期的关系。从图中可以看出,击实材料化土的干密度随着闷料期的增大而增大。此规律和传统的生石灰改性土最大干密度与击实延迟的关系相反。Kolawole J. Osinubi等^[11]试验研究了击实延迟对石灰改性粘土最大干密度的影响,发现数小时的击实延迟使得土的最大干密度显著下降,3 h的击实延迟导致改性土

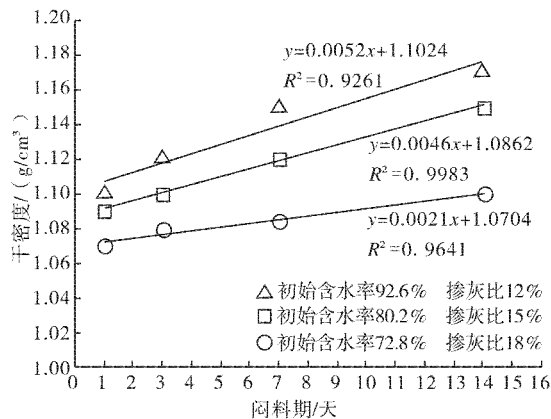


图6 击实材料化土的干密度与闷料期关系

Fig. 6 Relationship of dry unit weight of compacted lime-stabilized dredged sludge with the curing period

的最大干密度最多下降了 $0.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,他们将此解释为石灰改性导致土体发生的团聚化,击实延迟时间越长使土团聚体越脆硬,因此击实时需要大量的击实功将土团聚体粉碎,由此消耗部分击实功。对于淤泥材料化土,一方面,由于含水率相对较高,土团聚体还未达到高度脆硬的程度,压碎材料化土团聚体消耗的功极小,没有显著影响到土的有效压实功;另一方面材料化土的含水率在闷料期内逐步降低,导致了土的干密度增大,综

合这两方面的作用导致了干密度的增大。从图6中可直观的看出击实材料化土的干密度与闷料期线性相关,拟合式如下:

$$w_0 = 72.8\%, a_c = 12\%, \gamma_d = 0.005 t + 1.10, R^2 = 0.926$$

$$w_0 = 80.2\%, a_c = 15\%, \gamma_d = 0.004 t + 1.08, R^2 = 0.998$$

$$w_0 = 92.6\%, a_c = 12\%, \gamma_d = 0.002 t + 1.07, R^2 = 0.964$$

由上述三组典型不同初始含水率、不同掺灰比的击实材料化土干密度与闷料期的拟合公式可知,材料化土的干密度与闷料期间关系可用 $\gamma_d = At + B$ 表示。工程实际中可以通过实测出某个初始含水率、掺灰比的材料化土几个闷料期对应的干密度,计算得到常数 A 、 B ,就可以算出该材料化土任意闷料期时的干密度,可以减少击实试验工作量。

图7是不同初始含水率、不同掺灰比的击实材料化土的孔隙比与闷料期的关系。从图中可以看出,孔隙比随着闷料期的增大呈现减小的趋势,主要原因是材料化土随着闷料期延长,土性逐步改善,降低了材料化土的含水率。此外,从图中还可以看出,初始含水率80.2%的材料化土闷料期1、3天时的孔隙比数据较异常,致因有待进一步分析研究。

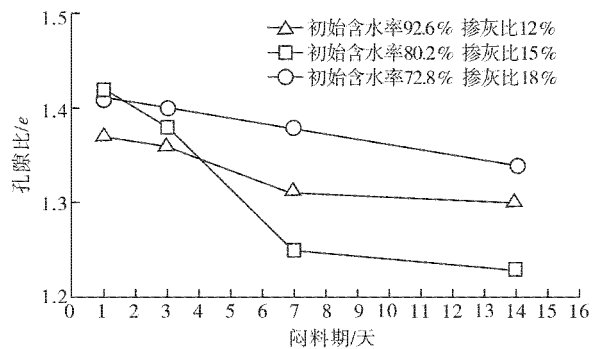


图7 击实材料化土的孔隙比与闷料期关系

Fig. 7 Relationship of porosity ratio of compacted lime-stabilized dredged sludge with the percent of stabilizer

图8是不同初始含水率、不同掺灰比的击实材料化土的饱和度与闷料期的关系。从图中可以看出,击实后的材料化土较高,均大于90%,且随着闷料期的变化不显著。采用击实法击实材料化土的主要效果是将材料化土团聚体颗粒间及土团中的孔隙气排出,当击实到一定程度时,土具有较高的饱和度,此时击实功以瞬时荷载的形式作用于土体,水的排出会受到密实而细小的土粒的制约,空气的排出又会受到接近完全饱和的水的制约,水和空气的排出都非常困难,增加击实功对气体排出超过一定值之后就起不到显著的密实作

用,此时的土即可认为已经击实。

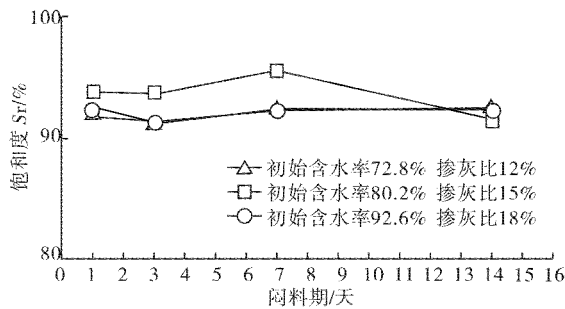


图 8 击实材料化土的饱和度与闷料期关系

Fig. 8 Relationship of saturation of compacted lime-stabilized dredged sludge with the curing period

3 结 语

本文通过室内试验,分析了不同初始含水率的疏浚淤泥、不同掺灰比、不同闷料期时的疏浚淤泥材料化土团聚体击实后的基本性质,明确了土的干密度、孔隙率、饱和度和掺灰比、闷料期的关系。

击实疏浚淤泥材料化土的干密度随着掺灰比的增大而增大,孔隙比随着掺灰比的增大而减小,饱和度随着闷料期的变化不显著;此外,击实淤泥材料化土的干密度随闷料期的延长而增大,孔隙比随着闷料期的增大而减小,饱和度随着闷料期的变化不显著。击实之后的材料化土饱和度大部分达到 90% 以上。

参考文献:

[1] 张和庆,谢健,朱伟,等. 疏浚物倾倒现状与转化为再生资源的研究——中国海洋倾废面临的困难和对策[J]. 海洋通报,2004(6):21-26.

[2] 朱伟,张春雷,刘汉龙,等. 疏浚泥处理再生资源技术的现状[J]. 环境科学与技术,2002,25(4):39-41.

[3] 邓东升,张铁军,张帅,等. 南水北调东线工程高含水量疏浚淤泥材料化处理[J]. 河海大学学报:自然科学版,2008,36(4):559-563.

[4] 桂跃,高玉峰,宋文智,等. 高含水率疏浚淤泥生石灰材料化土闷料期强度变化规律[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(2):185-190.

[5] 张铁军,丁建文,邓东升,等. 生石灰处理高含水率疏浚淤泥的含水率变化规律研究[J]. 岩土力学,2009,30(9):2775-2791.

[6] 高玉峰,洪振舜,黎兵,等. 淤泥材料化处理复合型添加剂:中国,200810019879.9[P]. 2008-10-01.

[7] 桂跃,杜国庆. 高含水率疏浚淤泥材料化土击实方法初探[J]. 岩土力学,2010(S1):127-137.

[8] 桂跃,高玉峰,张勤羽,等. 高含水率疏浚淤泥材料化土的击实时机研究[J]. 地下空间与工程学报,2010,6(5):1072-1076.

[7] Ladd C C. Mechanism of swelling by compacted clay[J]. Highway research, 1960, 245: 10-26.

[8] Marks B D, Haliburton T A. Effects of sodium chloride and sodium chloride-lime admixtures on cohesive Oklahoma soils[J]. Highway Research Record, 1970, 315: 102-111.

[9] Bell F. Lime stabilisation of clay soils[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1989, 39(1):67-74.

[10] Osinubi K J. Influence of compactive efforts and compaction delays on lime-treated soil[J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 124:149-155.

[11] BELL F G, Tyrer M J. Lime stabilization and clay mineralogy[J]. Foundations and Tunnels, 1987(2):1-7.

Properties of compacted lime-stabilized dredged sludge

GUI Yue¹, CHANG Wen-qing², ZHANG Qing¹

(College of Civil Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China;
Shanghai Tongyan Civil Engineering Technology Co., Ltd. Shanghai 200092, China)

Abstract: The lime-treated dredged sludge is dry and cohesionless soil, thus it should be compacted as the fillback materials. The paper presents an experimental study on the basically properties of the loose stabilized dredged sludge after compacted, including the relationship of dry unit weight, porosity ratio, saturation degree with ratio of lime and curing period by laboratory experiments. Results show that the dry unit weight increases with the lime ratio and curing period increasing, the porosity ratio decreases with the lime ratio and curing period increasing, the saturation degree is over 90% and has not significant change with the lime ratio and curing period increasing.

Key words: dredged sludge; stabilization; compaction; dry unit weight; porosity ratio; saturation degree

本文编辑:龚晓宁