

骨架构建法进行污泥固化处理的试验研究

李磊¹, 朱伟^{1,2}, 林城¹

(1. 河海大学 土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对目前采用水泥固化处理污泥中存在的水泥用量大、强度低问题, 提出采用废弃淤泥构建污泥骨架进行固化处理的思路。试验结果表明, 添加淤泥后污泥固化强度得到了明显提高, 能够满足填埋或资源化利用对强度的要求, 并实现了以废治废的目标。为了获得最优的固化方案, 建立了污泥固化处理的多目标优化设计模型, 通过该模型可获得最优的水泥和淤泥掺入量。

关键词: 污泥处理; 固化; 淤泥; 骨架构建; 优化

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2005)06-0041-03

Experimental Study on Sludge Solidification by Using Skeleton Construction Method

LI Lei¹, ZHU Wei^{1,2}, LIN Cheng¹

(1. School of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Because of large consumption of cement and low strength existing in the use of cement for sludge solidification, an idea was proposed on the use of waste silt to construct cement skeleton for sludge solidification. The experimental result indicates that addition of silt greatly upgrades sludge solidification strength, which meets the requirement for the landfill and sludge reclamation and reuse. It achieves the objectives of waste control with waste. The multi-objective optimization design model was set up to obtain the optimal sludge solidification scheme, by means of which the optimal amount of cement and silt addition was attained.

Key words: sludge treatment; solidification; silt; skeleton construction; optimization

骨架构建法是向污泥中掺入一定量的外加剂, 通过外加剂与水泥反应形成固化产物的骨架, 并在水化反应时吸收固定污泥中的水分, 在骨架内包裹污泥的有机颗粒, 以达到提高固化体强度和封闭污染物的效果。基于以废治废的思路, 采用废弃淤泥作外加剂并开展了相关研究。

1 试验材料及方案

试验用水泥为 32.5# 普通硅酸盐水泥, 污泥

为某化纤厂污水处理站的脱水污泥, 淤泥取自深圳大亚湾的疏浚产物。从实测结果来看, 污泥主要由有机质和微生物体内结合水组成, 无机干物质极少; 淤泥的土工含水率高达 120%, 粘粒含量为 40%。

试验中考察了水泥和淤泥掺入量对污泥固化效果的影响。具体方案见表 1。

试验时, 首先将淤泥按比例掺入污泥当中, 搅拌均匀后加入水泥再继续搅拌。根据土工试验规范的

要求即试样高度和直径比为 (2 ~ 2.5) : 1, 取试样直径为 3.91 cm、高度为 8 cm, 分三层装入模具 (每层振动 2 min 后再装入下一层)。制样后置于恒温恒湿箱中养护 1 d, 脱模后继续养护至试验龄期 (7 d), 然后进行无侧限抗压强度 (q_u) 试验。

表 1 试验方案

Tab 1 Experimental scheme $kg \cdot kg^{-1}$

| 项目 | 水泥掺入量 μ_c | 淤泥掺入量 μ_s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 数值 | 0.1 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 |
| | 0.2 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 |
| | 0.4 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 |
| | 0.6 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 |

2 结果与讨论

2.1 固化污泥的强度

淤泥及水泥掺入量与污泥固化强度 (龄期为 7 d) 的关系如图 1、2 所示。

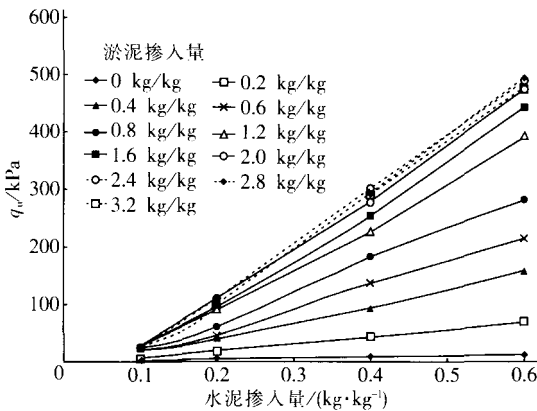


图 1 无侧限抗压强度与水泥掺入量的关系

Fig 1 Relationship between unconfined compression strength and cement adding quantity

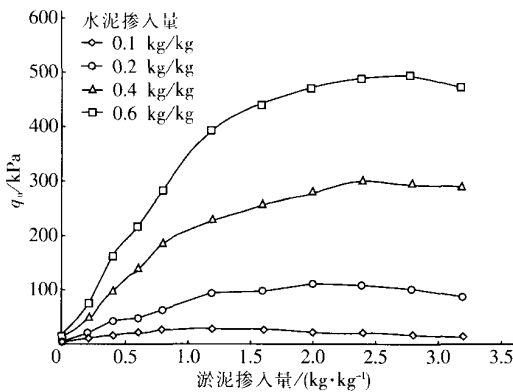


图 2 无侧限抗压强度与淤泥掺入量的关系

Fig 2 Relationship between unconfined compression strength and silt adding quantity

由图 1、2 可以看出:

单独掺加水泥时固化污泥的强度很低, 加入淤泥后则强度得到了明显提高, 如当淤泥掺入量达到 20% 时固化污泥的强度平均提高了 6 倍。因此可认为, 添加淤泥使固化体形成了较为坚固的骨架, 对固化污泥强度的提高起到了关键作用。

淤泥掺入量与固化污泥强度之间为非线性关系, 即在掺入量较小时, 随着淤泥掺入量的增加则强度也增加, 当淤泥掺入量超过一定量后其强度开始出现下降的趋势。与最高强度对应的淤泥掺入量, 可称为最大淤泥掺入量, 其值和水泥掺入量有关, 随着水泥掺入量的增加则最大淤泥掺入量也增加, 也就是说, 淤泥是否能够完全被胶结为强固的骨架, 与水泥掺入量有一个适宜的比例。

固化污泥的强度和水泥掺入量呈线性关系, 但增加的幅度 (斜率) 与淤泥的掺入量密切相关。

在固化过程中存在一个最小水泥掺入量 (以试样能否脱模和自立为标准), 小于这一掺入量则基本上不能产生强度。试验中得到了最小水泥掺入量和淤泥掺入量的关系 (见图 3), 即随着淤泥掺入量的增加则固化污泥所需的最小水泥掺入量逐渐减小, 通过构建骨架可使固化污泥在较小水泥用量下就具有一定的强度。

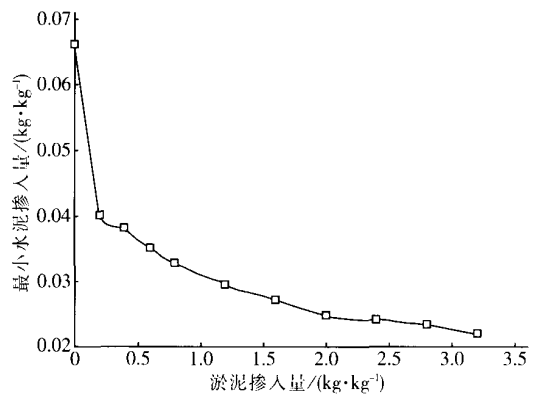


图 3 淤泥掺入量和最小水泥掺入量的关系

Fig 3 Relationship between silt adding quantity and cement minimum adding quantity

2.2 污泥固化的增容比

在采用骨架构建法固化污泥时, 处理前后污泥体积的变化也是一个重要的指标。如果体积增加太大, 就会显著增加后处理的费用, 因此对固化前后的污泥体积变化进行了测定。

结果表明,水泥和淤泥掺入量均与污泥的增容比呈线性关系,即增容比随着淤泥和水泥掺入量的增加而增大,其中掺入淤泥的增容比要远远大于掺入水泥的增容比。综合固化污泥的强度试验结果,可知适量地掺入淤泥可以增加固化污泥的骨架成分,从而获得较高的强度,但也意味着增容比会有较大的增加,因此采用填埋方案处置固化污泥时需结合强度和增容来考虑淤泥掺入量。

2.3 提高固化强度的机理

文献 [1] 指出,含水率和有机质含量的升高会降低固化淤泥的强度。采用骨架构建法固化污泥的试验结果显示,随着淤泥掺入量的增大则含水率和有机质含量持续下降,而含固率(骨架成分)则持续增加。这主要是因为淤泥的含水率和有机质含量均大大低于污泥,向污泥中添加淤泥实际上是用性质较好的成分与污泥中性质较差的成分混合,使得水泥水化形成的固化胶结物成分增加,减少了对固化起负面作用的有机物和自由水含量。通过对骨架构建机理的分析,可确定骨架材料的选择依据为:含水率要尽量低,有机质要尽量少。

3 污泥固化处理的技术优化

从经济性角度考虑,应尽可能地减少水泥的用量,同时选择适宜的淤泥掺入量。为此,在确定固化污泥的力学性质符合要求的前提下,以造价和增容比达到最小为目标进行优化。力学性质是一个可以根据工程需要预先知道的约束条件,故将造价和增容比作为优化设计的目标函数。固化材料的价格是决定固化技术成本的关键因素,实际应用中须确保固化材料成本最低,即:

$$\min \text{cost} = \text{cost}_1 \mu_1 + \dots + \text{cost}_n \mu_n \quad (1)$$

式中 cost ——固化材料的总价格

cost_i ——固化材料 i 的单价

μ_i ——固化材料 i 的掺入量

如对固化污泥进行填埋处置,则还要确保固化处理后的增容比最小,即:

$$\min = P(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) \quad (2)$$

工程中,固化污泥能否达到填埋或资源化利用的标准可通过其无侧限抗压强度来反映^[2],即:

$$\begin{cases} q_u = f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) & q_u \\ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n & 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中 q_u ——所要满足的最小无侧限抗压强度

综合式 (1) ~ (3) 便可将污泥固化处理的优化设计转化为多目标求解问题。以试验数据为依据,分别对固化污泥的强度和增容比进行回归分析得:

$$q_u = 0.06 + 735.4\mu_c\mu_s - 141.5\mu_s^2\mu_c + 7.2\mu_s^2 + 19.3\mu_c - 51\mu_s \quad (4)$$

$$= 1.08 + 0.2\mu_c\mu_s + 0.22\mu_c + 0.62\mu_s \quad (5)$$

对回归方程进行显著性检验,表明回归效果显著。根据文献 [2] 的研究结果,当污泥进行混合填埋时其抗剪强度要达到 25 kPa,即无侧限抗压强度要达到 50 kPa,故污泥固化处理的设计要求为:

$$\begin{cases} \min\{\text{cost}, \} \\ q_u \geq 50 \\ \mu_c, \mu_s \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

结合式 (4)、(5) 得 $\mu_c = 0.22 \text{ kg/kg}$, $\mu_s = 0.47 \text{ kg/kg}$,并可得到采用废弃淤泥进行污泥固化处理的成本为 66 元/t(水泥以 300 元/t 计),增容比为 1.39。而单独采用水泥进行处理时,如达到同样的处理效果则成本为 630 元/t,增容比为 1.84。

4 结论

采用骨架构建法进行污泥固化处理不仅达到了固化污泥的目的,而且大大降低了成本。

在同一水泥掺入量下,掺加粘土矿物含量较高的废弃淤泥可使固化污泥的强度大大增加。

存在一个最大淤泥掺入量,超过该值会使固化体的强度降低。

通过采用优化设计可得到最佳的水泥和淤泥掺入量。

参考文献:

- [1] 杨永荻,汤怡新. 疏浚土的固化处理技术 [J]. 水运工程, 2001, 327(4): 12 - 15.
- [2] 赵乐军,戴树桂,辜显华. 污泥填埋技术应用进展 [J]. 中国给水排水, 2004, 20(4): 27 - 30.

电话: (025) 83787870

E-mail: mrlilei@sohu.com

收稿日期: 2005 - 02 - 17