

有机质固化土的强度及微观结构试验研究

郭 印¹, 徐日庆¹, 邵玉芳², 齐静静¹

(1. 浙江大学 岩土工程研究所, 杭州 310027; 2. 浙江大学 生物系统工程系, 杭州 310029)

摘 要: 通过无侧限抗压强度试验对比分析了有机质含量、水泥和石膏掺量对水泥固化土和 XGL2005 固化土强度形成规律的影响。分析结果表明, XGL2005 固化土的强度均不同程度地高于水泥固化土的强度, 而且强度增长也快于水泥固化土。结合抗压强度试验和扫描电镜试验分析了固化土微观结构变化和强度发展之间的对应关系。

关 键 词: 固化土; 抗压强度; 微观结构; 有机质

中图分类号: TU 441.92

文献标识码: A

Test research on strength and microstructure of stabilized soil contained organic matter

GUO Yin¹, XU Ri-qing¹, SHAO Yu-fang², QI Jing-jing¹

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Department of Biosystems Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Unconfined compressive strength tests have been done to analyze the influence of the content of organic matter, cement and gypsum on the strength development of cement stabilized soil and XGL2005 stabilized soil respectively. The results indicated that the strength of XGL2005 stabilized soil is higher than that of cement stabilized soil; and the strength increasing ratio of the latter is larger than the former. Combining the strength tests and the SEM tests, study had been done on the corresponding relationship between the strength development and the microstructure variation of XGL2005 stabilized soil.

Key words: stabilized soil; unconfined compressive strength; microstructure; organic matter

1 引 言

目前, 土壤固化技术在工程中得到了广泛地应用, 一方面通过搅拌混合对大量疏浚淤泥进行固化处理, 将其转化为建筑材料再生利用; 另一方面通过深层搅拌法对淤泥质土地基进行固化处理, 提高其承载力。然而, 当淤泥质土中有机质含量较高时, 往往出现水泥固化效果不理想的问题。

目前, 国内学者主要侧重于石灰、粉煤灰和生石膏对有机质土固化的研究^[1-3], 采用高性能复合固化剂对有机质土固化的研究还不足, 而分析各因素对固化有机质土强度影响机理的研究则更少。

本文结合室内无侧限抗压强度试验和扫描电镜试验^[4, 5], 揭示了有机质含量、水泥和石膏掺量对固化土强度发展和微观结构变化的影响规律, 得到 XGL2005 复合固化剂可有效消除有机质的影响, 提

高固化土的强度。

2 试验材料和试验方法

2.1 试验材料

本次试验所采用的土样为浙江省杭州市某工地第 3 层灰色粉质黏土, 其物理力学性质指标见表 1。土样用恒温干燥箱在 105~110 °C 的温度下烘干, 碾细, 过 2 mm 筛后, 密封待用。水泥为 C32.5 普通硅酸盐水泥, 生石膏为杭州石粉厂生产。

2.2 试验方法

试验时, 按一定配比将有机质和烘干土样混合, 控制含水率为 48 %, 搅拌均匀; 然后将水泥、石膏和 0.15 % 水泥掺量的固化剂按水灰比为 0.6 制成水泥浆, 掺入配制好的有机质土中, 再一次搅拌均匀, 分层装入试模(70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm), 振捣密实, 置于恒温恒湿箱中, 养护 24 h 后脱模,

表 1 土样的物理力学性质指标
Table 1 Physical and mechanical properties of soil

土样名称	含水率 $\omega / \%$	重度 $\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	孔隙比 e	塑限 $\omega_p / \%$	液限 $\omega_L / \%$	压缩模量 E_{s1-2} / MPa	内摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$	黏聚力 c / kPa
粉质黏土	32.2	18.4	0.9	20.3	30.3	4.5	19.3	11.0

脱模后继续养护至规定龄期进行无侧限抗压强度试验。

将上述方法制备的试样养护至 7 d 时, 按 SEM 试验的要求, 切出具有平整断面的小试块, 先对试块进行气干, 再真空干燥, 然后在断面上镀一层重金属膜, 采用 XL-30 型扫描电镜进行试验。

3 固化土的抗压强度试验

为了分析固化剂 XGL2005 的固化效果, 对仅用水泥固化和掺入水泥重量 0.15 % 的 XGL2005 两种固化土进行无侧限抗压强度试验, 对比分析了两种固化土在不同有机质含量、不同水泥掺入比和不同龄期时的强度变化规律。

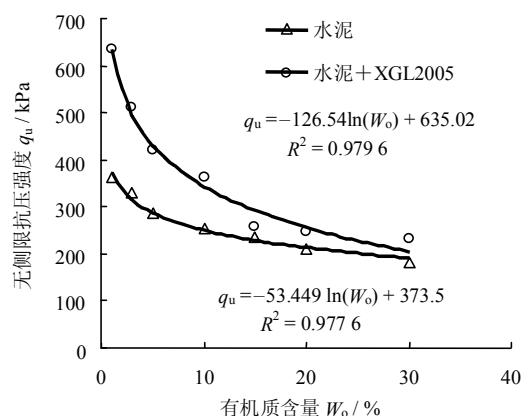


图 1 固化土抗压强度与有机质含量关系曲线

Fig.1 Relationship between the unconfined compressive strength and the content of organic matter of stabilized soil

图 1 为两种固化土的无侧限抗压强度随有机质含量的变化曲线, 二者有很好的对数相关关系。在有机质含量较低时, XGL2005 的固化效果比较明显, 随有机质含量的增加两种固化土的强度越来越接近, 可推测当有机质含量大于 30 % 时二者接近重合, 即此时对应的 XGL2005 掺量已经不足以消除有机质对水泥固化效果的不利影响。

为了分析水泥掺量对固化土强度特性的影响, 保持其他条件不变, 通过改变水泥掺入比得到如图 2 所示曲线, 两种固化土的无侧限抗压强度随水泥掺量增加都呈幂函数方式增长。而且随着水泥掺量的增加, XGL2005 的作用效果越来越明显。水泥掺

量由 6 % 提高到 27 %, XGL2005 固化土的强度提高幅度由 15 % 增加到 101 %, 这说明了当水泥达到一定掺量时, XGL2005 才可以有效消除有机质的影响, 促进水泥和黏土之间的反应。

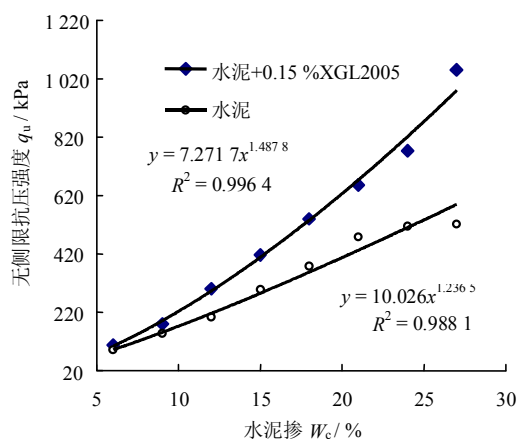


图 2 固化土抗压强度与水泥掺量间的关系曲线

Fig.2 Relationship between the unconfined compressive strength and the cement content of stabilized soil

通过不同龄期的无侧限抗压强度试验, 分析了龄期对固化土强度特性影响, 得到如图 3 所示曲线。随着龄期的增加, 固化土的无侧限抗压强度以对数形式增加, 而且相对于水泥固化土, XGL2005 固化土的强度增长更快。

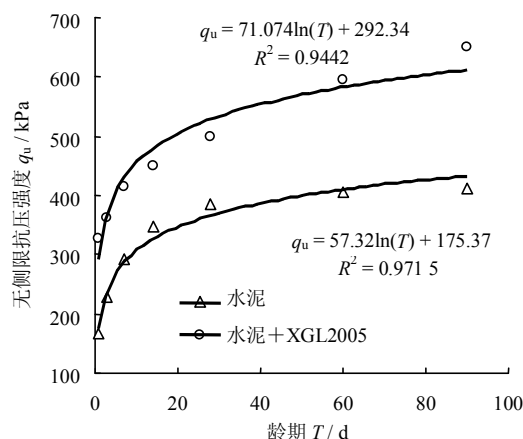


图 3 固化土抗压强度与龄期间的关系曲线

Fig.3 Relationship between the unconfined compressive strength and curing time of stabilized soil

4 固化土强度形成机理分析

如图 4 所示,水泥系固化土的强度一部分来源于呈蜂窝状具有胶结土粒作用的水化硅酸钙 (C-S-H); 另一部分来源于针状具有膨胀填充孔隙作用的钙矾石 (AFt), 这两种水化物的多少直接影响着固化土的强度。

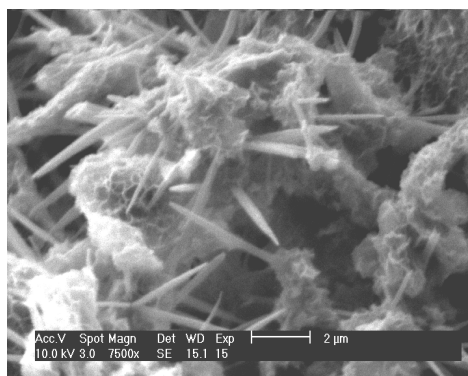


图 4 固化土的微观结构图
Fig.4 Microstructure of stabilized soil

4.1 有机质对固化过程的影响

有机质对固化土强度的影响主要体现在其与水泥水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 产生反应, 大大减弱固化土体系中的火山灰反应, 使之不能生成大量的 C-S-H 和 C-A-H, 阻碍了固化土强度的发展。

保持胡敏酸、水泥和石膏掺量分别为 5 %, 10 % 和 4 %, 通过改变有机质掺量来分析有机质的影响。如图 5 中曲线所示, 有机质掺量由 0 增加到 10 % 时, 固化土在不同龄期的强度平均降低约 53 %, 而且曲线由平缓变陡。从图 6 中可以清楚地看到随着有机质掺量的增加, 固化土中的纤维状水化物由发育良好到逐渐消失。

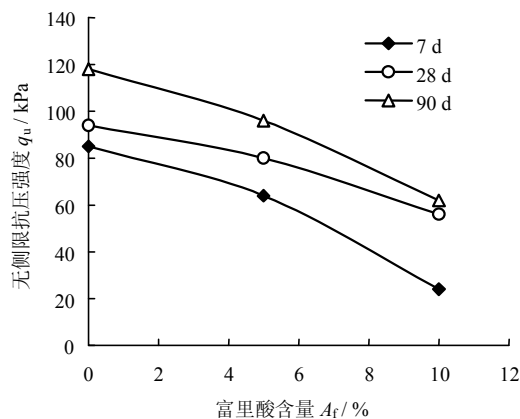
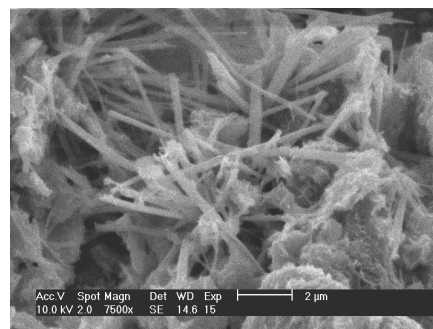
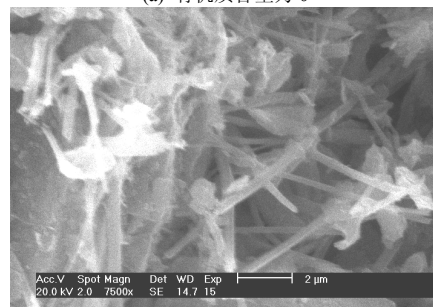


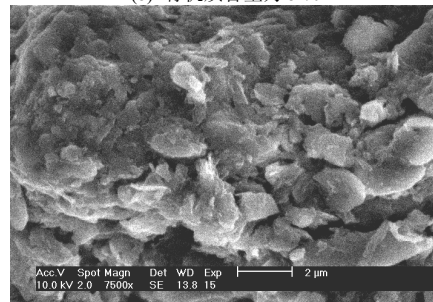
图 5 固化土的强度与有机质含量间的关系
Fig.5 The relationship between the strength and the content of organic matter of stabilized soil



(a) 有机质含量为 0



(b) 有机质含量为 5 %



(c) 有机质含量为 10 %

图 6 固化土的微结构与有机质含量间的关系

Fig.6 The relationship between the microstructure and the content of organic matter of stabilized soil

4.2 固化剂对土壤固化的作用

本次试验中的复合固化剂包括水泥、石膏和 XGL2005 固化剂, 其中 XGL2005 的添加量始终保持为水泥掺量的 0.15 %。

保持有机质、胡敏酸和水泥的掺量分别为 5 %, 5 % 和 10 %, 通过改变石膏掺量来分析石膏的影响。如图 7 所示, 随着石膏掺量的增加, 固化土不同龄期的强度呈二次抛物线型变化, 存在一峰值。当石膏掺量为 8 % 时, 固化土的强度甚至不及无石膏时的强度。这是由于掺入生石膏粉后, 水泥水化将生成钙矾石, 钙矾石具有双重作用, 既可以填充孔隙提高固化土的强度, 也会由于膨胀过大而破坏固化土已有的结构。从图 8 中可以看出, 石膏掺量由 0 增加到 4 % 时, 固化土中钙矾石晶体清晰可见, 固化土的强度有所增长, 但当石膏掺量为 8 % 时, 钙矾石晶体生长过多, 膨胀破坏了土粒间已建立的联接, 使固化土强度下降。所以, 此时生石膏的最优掺入比约为 4 %。

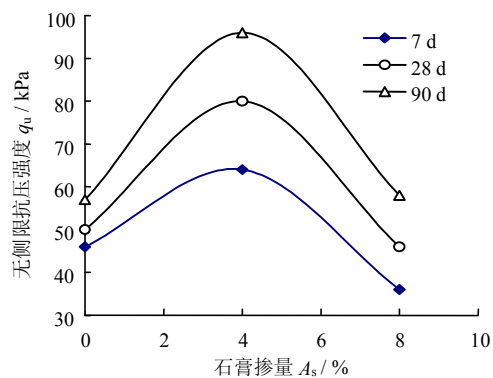
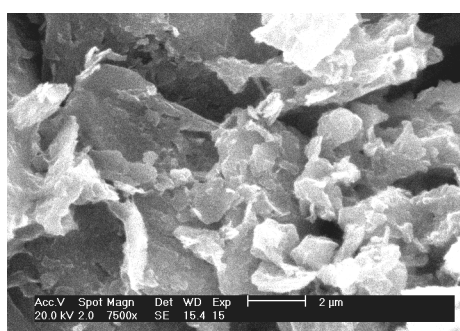
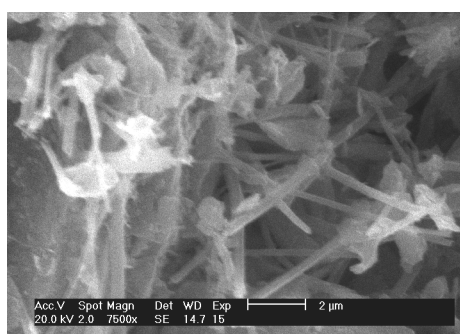


图 7 固化土的强度与石膏掺量间的关系

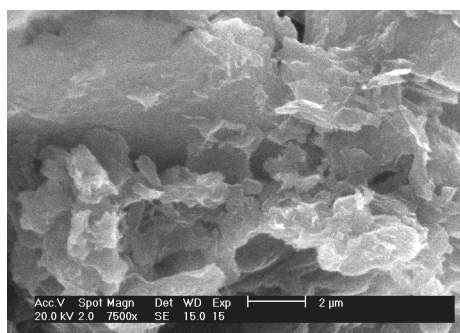
Fig.7 The relationship between the strength and the content of gypsum of stabilized soil



(a) 石膏掺量为 0



(b) 石膏掺量为 4 %



(c) 石膏掺量为 8 %

图 8 固化土的微结构与石膏掺量间的关系

Fig.8 The relationship between the microstructure and the content of gypsum of stabilized soil

保持有机质、胡敏酸和石膏的掺量分别为 5 %，5 %和 4 %，通过改变水泥掺量来分析水泥的影响。从图 9 中可以看出，水泥掺量由 6 %增加到 14 %时，

固化土的强度平均增加 3.6 倍。如图 10 所示，固化土中的水化物更多，土颗粒间也更加密实。

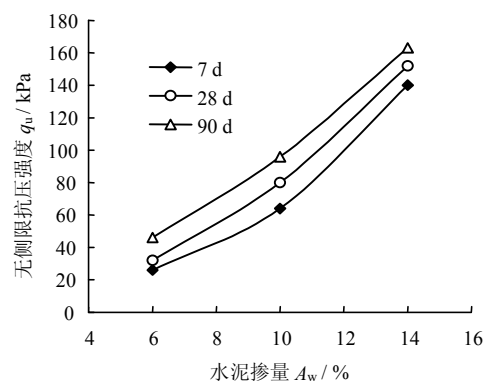
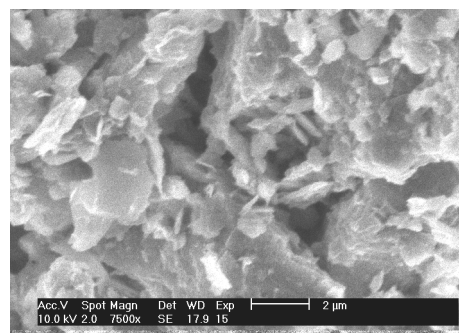
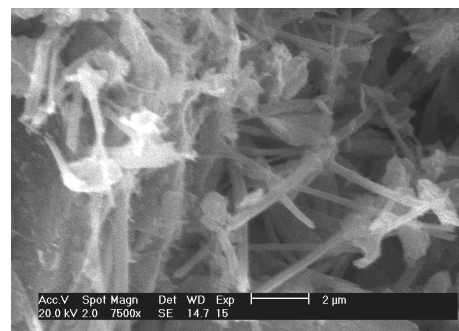


图 9 固化土的强度与水泥掺量间的关系

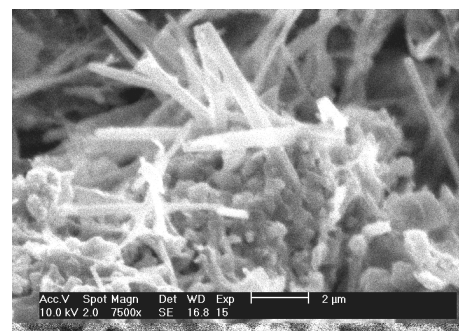
Fig.9 The relationship between the strength and the content of cement of stabilized soil



(a) 水泥掺量为 6 %



(b) 水泥掺量为 10 %



(c) 水泥掺量为 14 %

图 10 固化土的微结构与水泥掺量间的关系

Fig.10 The relationship between the microstructure and the content of cement of stabilized soil

5 结 论

(1) 随着有机质含量的增加, 两种固化土的强度呈对数形式下降; 随着水泥掺量的增加, 两种固化土的强度呈幂函数方式增长; 随着龄期的增加, 固化土的强度以对数形式增加。XGL2005 固化土的强度均不同程度地高于水泥土的强度, 而且强度增长也较快于水泥固化土。

(2) 固化剂 XGL2005 和石膏对水泥水化所起的激发作用是以一定水泥掺量为基础的, 随着水泥掺量的增加固化效果更加明显。

(3) 随着有机质含量的增加, 固化土中的水化产物逐渐减少, 宏观上表现为固化土的强度逐渐下降。随着石膏掺量的增加, 固化土不同龄期的强度呈二次抛物线型变化, 存在一峰值, 本次试验中生石膏的最优掺入比约为 4 %。随着水泥掺量的增加固化土的强度成直线上升趋势。

参 考 文 献

- [1] 范昭平, 朱伟, 张春雷. 有机质含量对淤泥固化效果影响的试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(8): 1 327—1 331.
- [2] 王梅, 白晓红, 梁仁旺, 等. 生石灰与粉煤灰桩加固软土地基的微观分析[J]. 岩土力学, 2001, 22(1): 67—70.
- [3] MODMOLTIN Chirdchanin, LU Jiang, ONITSUKA Katsutada. 有机质与盐分浓度对石灰加固土有明黏土的影响以及微观结构研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(2): 281—286.
- [4] 徐日庆, 邵玉芳. 温州半岛工程海堤淤泥质地基加固试验研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005, 31(4): 475—478.
- [5] 邵玉芳. 含有机质软土的加固研究[博士论文 D]. 杭州: 浙江大学, 2006.