

文章编号: 1673-9469 (2017) 02-0007-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.02.002

不同改良剂对不同含砂率粉土改良性质研究

王小伟¹, 赵岩²

(1. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061)

摘要: 通过人工室内配制不同含砂率(10%、20%、40%)粉土, 对其进行改良试验, 研究在不同改良剂(石灰+水玻璃、石灰+粉煤灰)、不同配比作用下3种含砂率粉土的改良效果, 研究表明: 随着含砂率的增加, 无论是素土还是改良土, 其最大干密度均增大; 对于石灰+水玻璃改良土, 其最大干密度较素土有明显的降低, 而石灰+粉煤灰改良土与之相反; 石灰+水玻璃改良土最优含水率与素土略有差别, 而石灰+粉煤灰改良土与素土最优含水率基本一致; 在同一含砂率下, 对于不同配比的石灰+水玻璃改良土, 其最大压实度和最优含水率并未发生较大变化, 10%石灰+20%粉煤灰的压实度高于其他配比情况; 在恒定压实度(95%)下, 改良土的无侧限抗压强度明显高于素土的无侧限抗压强度, 改良剂对粉土起到一定的“维稳”效果, 改良剂掺量才是决定无侧限抗压强度的关键因素。

关键词: 粉土; 含砂率; 石灰; 水玻璃; 粉煤灰; 改良; 无侧限抗压强度

中图分类号: TU44

文献标志码: A

Study on improving properties of different modifiers on silt with different sand content

WANG Xiaowei¹, ZHAO Yan²

(1. Hohai University, Key Laboratory for Geotechnical Engineering of Ministry of Water Resource Nanjing, Jiangsu, China, 210098; 2. Chang'an University, School of Materials Science and Engineering, Xi'an, Shanxi, China, 710061)

Abstract: A series of artificial silt with different sand ratios (10%, 20%, 40%) is prepared, with the improvement tests, the improvement effect of different modifiers (lime and sodium silicate, lime and fly ash) with different proportion on silt has been investigated. the results show that with the increase of sand rate, either soil or modified soil, the maximum dry density increases; contrary to the lime and fly ash modified soil, the maximum dry density of lime and sodium silicate modified soil is significantly reduced; the optimum moisture content of lime and sodium silicate modified soil and soil is slightly different, however, for lime, fly ash modified soil and soil, the optimum moisture content is basically the same; with the same sand ratio, the maximum degree of compaction and the optimum moisture content of the lime and sodium silicate modified soil with different ratios have not changed greatly, the compaction ratio of 10% lime and 20% fly ash is higher than the others; at a constant degree (95%) of compaction, the unconfined compressive strength of modified soil is significantly higher than silt, and plays a “stable” effect, the modified additive quantity is the key factor of the unconfined compressive strength.

Key words: Silt; Sand Ratio; Lime; Sodium Silicate; Fly Ash; Improve; Unconfined Compressive Strength

粉土的性质介于粉质粘土和粉砂之间, 具有液化性、流变性、触变性和水稳定性差等特点^[1]。近

十几年来, 在粉土改良方面, 国内外学者已开展不同层次的研究: 商庆森等^[2]分析了石灰、水泥和石

收稿日期: 2017-03-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51379065); 江苏省自然科学基金资助项目(41272329)

作者简介: 王小伟(1990-), 男, 山东潍坊人, 博士, 主要从事岩土工程研究。

灰稳定粉土强度低、抗冻性能差的原因；张西海等^[3]从工程试验的角度对水泥改良粉土和水泥粉煤灰改良粉土后的物理力学性能进行了比较，从而为粉土改良后作为路基填料提出最佳掺量配比参考值；关文学等^[4]通过二灰稳定粉砂土的大量试验分析，阐述了影响二灰土强度的主要因素，解决了粉砂土成型差、强度低的问题；姚占勇等^[5]研究了黄河冲（淤）积粉质二灰土的压实特性，并分析了压实度和压实含水量对二灰土强度特性的影响以及影响压实的关键因素及其影响规律。以往试验均表明石灰、粉煤灰对粉土具有一定的改良作用，然而，对于不同的颗粒组成、矿物成分，应用不同改良剂，粉土改良效果也不尽一致。因此，有必要对不同颗粒组成的粉土进行不同改良剂下的相关研究，从而为粉土改良工程的设计和施工提供有力考据。

1 研究方案及方法

1.1 研究方案设计

本研究采用人工配制不同含砂率（10%、20%、40%）的某工程粉土，通过采用不同改良剂：石灰+水玻璃、石灰+粉煤灰，不同配比：2%石灰+2%水玻璃、2%石灰+4%水玻璃、4%石灰+2%水玻璃、10%石灰+10%粉煤灰、10%石灰+20%粉煤灰、20%石灰+10%粉煤灰，改良土的重型击实试验确定最大干密度和最优含水率，研究分析不同含砂率改良土的压实特性。然后以恒定压实度（95%）、相同龄期（28 d）对改良粉土以路基填料的无侧限抗压强度作为填筑质量的控制指标影响规律进行研究，并加以对比分析，得出相关结论。

1.2 试验材料

表1 粉煤灰物理化学成分 Tab.1 Physical and chemical composition of fly ash					
烧失量 /%	SiO ₂ /%	Fe ₂ O ₃ /%	Al ₂ O ₃ /%	细度 0.10 mm	细度 0.075 mm
2.69	49.0	7.68	21.76	4.1	27.4

表3 素土物理性质 Tab.3 physical properties of soil							
含水率 /%	最大干密度 /(g·cm ⁻³)	比重 G _s	液限 W _L /%	塑限 W _P /%	塑性指数 I _p /%	粉砂粒含量 /%	土定名
20.5	1.61	2.62	28.5	23.3	8.6	90.0	粉土

- (1) 砂：试验标准砂；
- (2) 石灰：二级灰，熟石灰；
- (3) 水玻璃：模数为 2.5~2.7 的钠水玻璃，浓度为 40%；
- (4) 粉煤灰：采用沾化电厂粉煤灰，具体物理化学成分如表 1。

1.3 试验方案

- (1) 本试验所用土均为某工程粉土，采用不同含砂率进行人工配制，继而采用不同配比改良剂进行研究分析。
- (2) 通过重型击实试验得到素土及不同改良土（具体组合见表 2）的最大干密度和最优含水率，分别在最优含水率和恒定压实度（95%）条件下对各改良土按《公路土工试验规程》（JTG E40 – 2007）采用静压法制备试样，养护 28 d 后进行无侧限抗压强度试验。

表2 试验组合 Tab.2 Test combination		
含砂率 /%	石灰 + 水玻璃 /%	石灰 + 粉煤灰 /%
10	2+2	10+10
	2+4	10+20
	4+2	20+10
20	2+2	10+10
	2+4	10+20
	4+2	20+10
40	2+2	10+10
	2+4	10+20
	4+2	20+10

- (3) 对比分析不同改良剂对不同含砂率粉土的改良效果。

2 试验结果及分析

试验对所取素土进行了液塑限、比重、颗粒分析以及击实试验，其试验结果见表 3。从颗粒分析

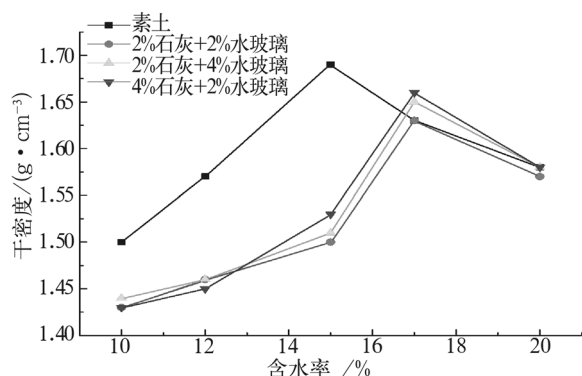


图1 石灰+水玻璃改良土击实曲线

Fig.1 Compaction curve of lime and sodium silicate improved soil

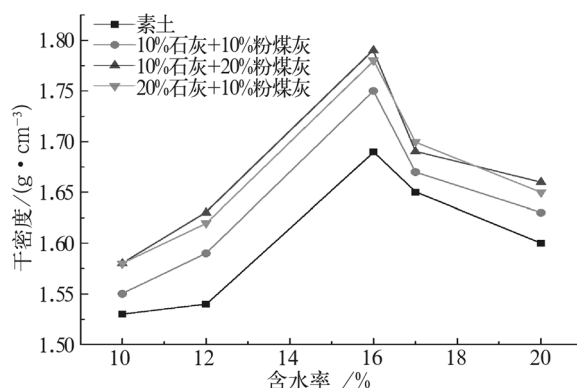


图4 石灰+粉煤灰改良土击实曲线

Fig.4 Compaction curve of lime and fly ash improved soil

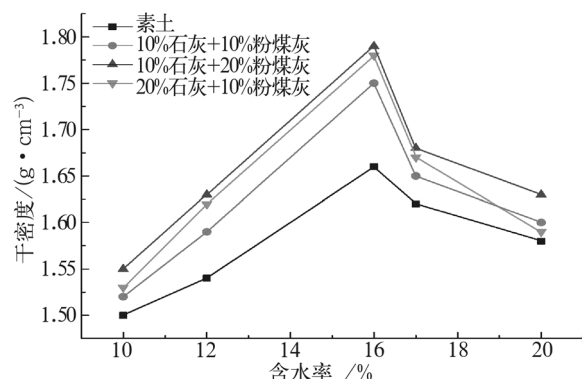


图2 石灰+粉煤灰改良土压实曲线

Fig.2 Compaction curve of lime and fly ash improved soil

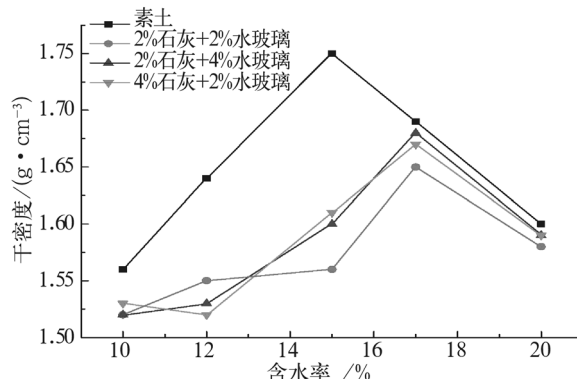


图5 石灰+水玻璃改良土击实曲线

Fig.5 Compaction curve of lime and sodium silicate improved soil

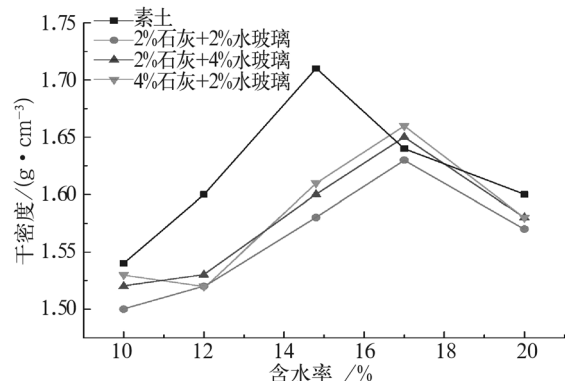


图3 石灰+水玻璃改良土击实曲线

Fig.3 Compaction curve of lime and sodium silicate improved soil

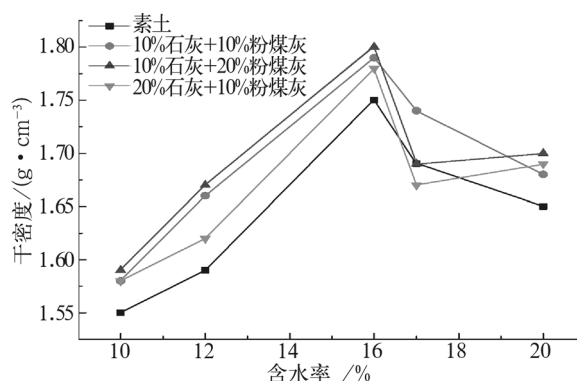


图6 石灰+粉煤灰改良土击实曲线

Fig.6 Compaction curve of lime and fly ash improved soil

结果, 以及结合液塑限情况依据规范《公路土工试验规程》(JTGE40-2007)可知, 该土属于低液限粉土。通过对素土进行无侧限抗压强度试验, 得到素土在95%压实度下的无侧限抗压强度为59.4 kPa。

2.1 改良土的击实效果

含砂率为10%的改良粉土击实曲线如图1、图2, 含砂率为20%的改良粉土击实曲线如图3、图4,

含砂率为30%的改良粉土击实曲线如图5、图6。

对比图1、图3、图5可发现: 随着含砂率的增加, 无论是素土还是改良土, 其最大干密度均呈增大趋势, 这是由于随着含砂率的增加, 粉土的颗粒级配发生改变, 细颗粒融入较粗砂粒形成的孔隙中, 压实度增加; 素土最优含水率保持在15%左右, 而改良土最优含水率保持在17%左右; 改良土的最大干密度较素土有明显的降低; 在同一含砂率下, 对于

不同配比的石灰+水玻璃改良土,其最大压实度和最优含水率并未发生较大变化,这是由于水玻璃溶液中的硅酸根离子(SiO_3^{2-})与石灰中的钙离子(Ca^{2+})产生如下化学反应: $\text{SiO}_3^{2-} + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaSiO}_3 \downarrow$ 。

生成的 CaSiO_3 把周围土颗粒牢固地粘结在一起生成坚硬的固体。由于反应较为剧烈,反应时间短暂,这就导致了此改良土的最大干密度并未随改良剂配比的变化发生较大变化。

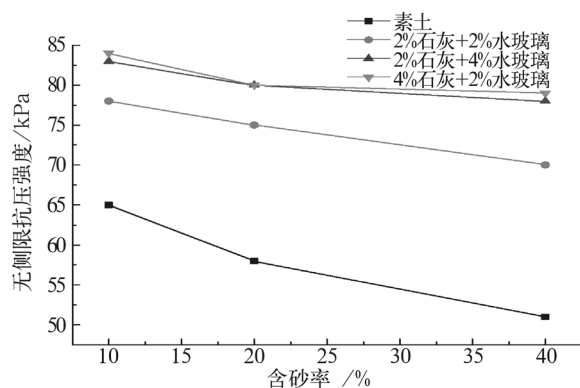
对比图2、图4、图6可发现:随着含砂率的提高,素土、改良土的最大干密度均有不同程度提高,且最优含水率基本保持不变,维持在16%左右;在同一含砂率下,改良土的最大干密度明显高于素土,说明改良土的压实效果优于素土;二灰中比较关键的是粉煤灰的含量,粉煤灰的颗粒级配和颗粒结构影响二灰土压实过程中的嵌挤、排列和填充作用^[5],因此,在同一含砂率下,10%石灰+20%粉煤灰的压实度高于其他配比情况。

2.2 不同含砂率粉土及改良土无侧限抗压强度试验结果与分析

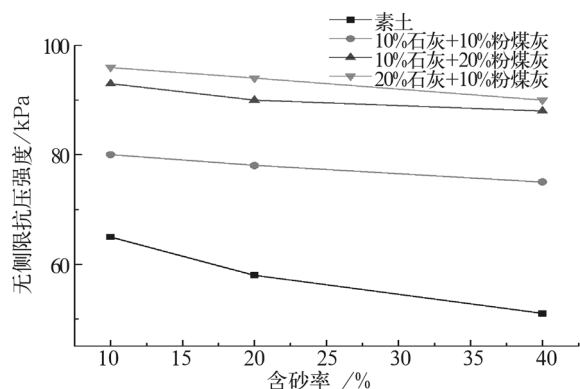
在恒定压实度(95%)下对素土及石灰+水玻璃、石灰+粉煤灰改良土养护28d,分别进行无侧限抗压强度试验,试验结果如图7。

从图7(a)可以看出:改良土的无侧限抗压强度明显高于素土的无侧限抗压强度,由于石灰、水玻璃本身及其与粉土中矿物成分发生复杂的化学反应,生成块状聚集物,凝聚周围土颗粒成为坚固的块体,进而使得改良土的无侧限抗压强度高于素土;素土的无侧限抗压强度随含砂率的增加呈现急剧下滑的趋势,而经过改良后的粉土则不会出现这一现象,相反,改良土的无侧限抗压强度随含砂率的增加下降较为缓慢,说明改良剂对粉土起到一定的“维稳”效果;对改良土而言,在石灰掺量一定(2%)的情况下,提高水玻璃的掺量可以大大提高无侧限抗压强度,同样地,保持水玻璃产量不变(2%),增加石灰的掺量,无侧限抗压强度也有明显的提高;而对于不同配比的改良剂(石灰:水玻璃=1:2或2:1)改良后的粉土,其无侧限抗压强度相差不大,可见改良剂掺量才是决定无侧限抗压强度的关键因素。

从图7(b)可以看出:石灰+粉煤灰改良土具有与石灰+水玻璃改良土类似的性质;二灰含量的增加,提高了灰土中生成的水硬性胶凝物质,进而提高了改良土的强度;不同的是,二灰配比不同,



(a) 素土及石灰+水玻璃



(b) 素土及石灰+粉煤灰

图7 无侧限抗压强度随含砂率变化曲线

Fig.7 Curves of unconfined compressive strength with sand content

强度有所不同,20%石灰+10%粉煤灰的改良土的强度高于10%石灰+20%粉煤灰的改良土强度,即二灰比1:N(石灰:粉煤灰=1:N),N值越小,强度越高,这与商庆森等人^[6]得出的结论一致。

3 结论

1) 随着含砂率的增加,无论是素土还是改良土,其最大干密度均增大。

2) 对于石灰+水玻璃改良土,其最大干密度较素土有明显的降低,而石灰+粉煤灰改良土与之却相反。

3) 石灰+水玻璃改良土最优含水率与素土略有差别,而石灰+粉煤灰改良土与素土最优含水率基本一致。

4) 在同一含砂率下,对于不同配比的石灰+水玻璃改良土,其最大压实度和最优含水率并未发生较大变化,10%石灰+20%粉煤灰的压实度高于其他配比情况。

5) 在恒定压实度(95%)下,(下转第21页)

4 结论

1) 在监测期内, 采用上述三种处理方法对软土地基加固后, 路基的工后累积沉降值分别为 15.8、13.2 和 8.6 mm, 远小于设计允许工后沉降警戒值 100 mm。说明采用这三种方法均起到了良好的地基加固效果。

2) 从监测结果可以看出, 水泥搅拌桩联合真空预压法处理软土地基工后累积沉降值分别是挖除换填法和真空预压工后累积沉降值的 54% 和 65%, 表明其加固软土地基效果要优于另外两种地基处理方法。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 地基处理手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 张乐. 道路工程施工中软土路基的有效处理措施 [J]. 四川水泥, 2015(9): 313-314.

- [3] 郑刚, 龚晓南, 谢永利, 等. 地基处理技术发展综述 [J]. 土木工程学报, 2012, 45(2): 127-146.
- [4] 刘汉龙, 赵明华. 地基处理研究进展 [J]. 土木工程学报, 2016, 49(1): 96-115.
- [5] 潘瑞春, 黄瑞章, 周新年, 等. 道路工程软土地基处理方案选择研究进展 [J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2012(10): 23-26.
- [6] 叶如军, 徐 竭. 试论公路施工中软土地基处理技术的应用 [J]. 城市道桥与防洪, 2013(4): 136-138.
- [7] 娄炎. 真空排水预压法加固软土技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [8] 王煜华. 水泥搅拌桩在公路软土地基中的施工应用 [J]. 施工技术, 2007(36): 123-125.
- [9] 贺亚飞, 杨芳. 真空预压法加固机理及设计要点 [J]. 四川水泥, 2015(8): 115-115.
- [10] 李蓉, 侯天顺. 水泥土搅拌桩及其在软土地基加固中的应用 [J]. 建筑科学, 2008, 24(5): 88-90.
- (责任编辑 王利君)

(上接第 10 页)

改良土的无侧限抗压强度明显高于素土的无侧限抗压强度, 改良剂对粉土起到一定的“维稳”效果, 改良剂掺量才是决定无侧限抗压强度的关键因素。

参考文献:

- [1] 彭月英. 基于现行规范的粉土定名分析与探讨 [J]. 地质科技情报, 2006(4): 92-94.
- [2] 商庆森. 石灰稳定黄河冲积粉土的研究 [J]. 华东公路,

1996(1): 25-27.

- [3] 张西海. 水泥及水泥粉煤灰改良粉土填料性能试验研究 [J]. 路基工程, 2007(2): 75-76.
- [4] 关文学, 高新学. 二灰稳定黄河粉砂土的强度影响因素 [J]. 山东交通科技, 2008(1): 35-38.
- [5] 姚占勇. 黄河冲(淤)积粉质二灰土的压实特性研究 [J]. 岩土工程学报, 2007(5): 664-670.
- [6] 商庆森, 刘树堂. 影响石灰与二灰稳定细粒土强度因素的分析 [J]. 公路交通科技, 2000(6): 26-29.
- (责任编辑 王利君)