

贝壳改良膨胀土的抗剪强度试验研究

许长辉¹, 孙树林²

(1. 浙江省地矿勘察院, 浙江 杭州 310012; 2. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 211100)

摘要: 针对膨胀土遇水膨胀失水收缩的问题, 将贝壳碾碎添加到膨胀土中, 通过系统的室内抗剪强度试验, 探讨贝壳改良膨胀土的强度变化规律。试验结果表明: 掺入贝壳能够有效提高膨胀土的抗剪强度, 随着贝壳掺量的提高, 抗剪强度先增大后减小, 12% 贝壳掺量时, 改良土的抗剪强度达到最大。

关键词: 贝壳; 改良膨胀土; 抗剪强度

中图分类号: TU43

文献标志码: A

Study of shear strength test on expansive soil improved by shell

XU Changhui¹, SUN Shulin²

(1. Geological Exploration Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China; 2. College of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: According to the characteristics of the expansive soil which are the expansion of soil meets water and shrinkage of soil loses water, the strength change law of shell modified expansive soil was studied by crushing the shells and adding them to the swelling soil through the scientific indoor shear strength test. The test results show that adding shells can effectively improve the shear strength of expansive soil. With the increase of the shell content, the shear strength increases first and then decreases, and the shear strength of the improved soil reaches the maximum when the amount of the shells is 12% .

Key words: Shell; Modified expansive soil; Shear strength

膨胀土一直是公路工程中一个严峻的问题, 这是由于膨胀土遇水膨胀、失水收缩的特点容易给工程活动带来危害, 因此必须要对膨胀土进行处理才能达到工程上的要求。近年来, 利用固体废弃物改良膨胀土成为改良膨胀土的研究热点^[1-6]。黄震^[7]等对掺不同比例的石灰、风化砂改良膨胀土的胀缩裂隙与抗剪强度关系进行了研究, 认为石灰和风化砂能限制裂隙的发育, 并且抗剪强度随着干湿循环次数增加而衰减。邓友生^[8]等将聚丙烯纤维加入膨胀土中, 发现膨胀土强度随着聚丙烯纤维含量的增加而增大, 并且强度随着纤维长度而增大。不同的改良材料有着各自的优缺点, 选择固废改良膨胀土能使固废材料得到有效利用并改善环境, 具有显著的经济效益和环境效益。本文提出利用贝壳改良膨

胀土, 既缓解了沿海地区贝壳大量堆积引发的环境污染问题, 也为改良膨胀土工程性质提供一种可以借鉴的方法。

1 试验材料

本文土样取自南京工程学院校区内湖边湿地, 取土深度 2~3 m, 属于第四纪中更新世冲击、洪积土层。将土样风干后用木槌敲碎, 土样呈黄褐色, 为粉质粘土, 其中夹杂一些高岭土团块、锰铁质结核和少量植物根茎, 无异味, 颗粒大小较为均匀。土样的具体物理参数如表 1 所示。

贝壳的种类非常多, 而且形态各异, 颜色不同, 但是贝壳类的化学组成相似, 它们主要有占全壳

收稿日期: 2017-06-13

基金项目: 国家重点实验室开放研究基金项目 (2005408911); 留学回国人员科研基金项目资助 (20071108)

作者简介: 许长辉 (1990-), 男, 福建莆田人, 硕士, 助理工程师, 现从事地质工程技术方面的研究。

表1 试验土样的基本物理参数
Tab.1 The basic physical parameters of test soil samples

液限 $\omega_L / \%$	塑限 $\omega_P / \%$	塑性指数 $I_p / \%$	最优含水率 $\Omega / \%$	最大干密度 $P / (g \cdot cm^{-3})$	比重 G_s	自由膨胀率 $\Delta_{ef} / \%$	曲率系数 C_c	不均匀系数 C_u
40.3	17.8	22.5	16.68	1.82	2.71	42%	2.84	90

表2 素土及贝壳改良膨胀土的抗剪强度
Tab.2 Shear strength of pure soil and soil improved with shell

贝壳掺量 / %	施加的垂直应力 / kPa			
	100	200	300	400
0	105.24	154.24	193.15	225.17
4	118.50	163.65	205.13	244.34
8	127.91	169.29	210.77	256.98
12	151.08	210.58	252.05	298.39
16	142.96	190.67	237.01	273.94

95%的碳酸钙和少量的贝壳素^[9]。CaCO₃固体颗粒是一种非常坚硬的固体颗粒，并且具有较高的强度和稳定性。由于CaCO₃固体颗粒对土体的胶结作用使得土体加固，形成石灰稳定土。因此本次试验可以将贝壳碾碎，添加到膨胀土中来改良膨胀土的物理力学性质。本次试验所用贝壳来自饭店客人食用后丢弃的花甲壳，将其洗净风干后碾碎并烘干便可作为试验的改良材料。

2 试验内容

试验参照《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)进行。试验前将土样都风干碾碎过2mm的筛子，贝壳烘干碾碎后过2mm的筛子，按照设计的掺量，分别称取贝壳和土比为0:100、4:96、8:92、12:88、16:84，按照最优含水率加水拌合均匀，闷料一昼夜。用击样器制备成剪切用试样，试样的高度为20mm，直径为61.8mm，放在养护箱中养护一昼夜。

本次直剪试验采用应变控制式直剪仪测定试样的抗剪强度，分别施加垂直荷载100、200、300、400kPa。剪切开始时，以0.8mm/min的剪切速度进行剪切，当百分表出现峰值时，应在剪切位移超过4mm时停止剪切，记录下破坏值。没有峰值时，应剪切至剪切位移为6mm时停止剪切。每个试样都做两组平行试验，取平均值为最终结果。

3 试验结果

本次直剪试验的结果见表2，图1是试样的 τ - σ 关系曲线图。对曲线图中的直线进行拟合，所得拟

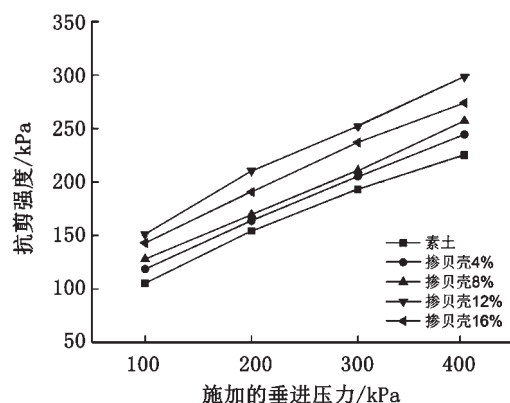


图1 不同贝壳掺量改良膨胀土的 τ - σ 关系曲线
Fig.1 The τ - σ curve of expansive soil improved by different shell contents

合方程见公式(1)~(5)。

从图1中可以看出掺入贝壳后，膨胀土样的抗剪强度明显提高，其中当贝壳掺量达到12%时，改良膨胀土的粘聚力和内摩擦角达到了最大107.17kPa和23.20°，相比于素土的69.77kPa和21.74°，分别提高了53.50%和6.72%。

$$\tau_0 = 69.7745 + 0.3987\sigma, R = 0.98643 \quad (1)$$

$$\tau_{4\%} = 78.1565 + 0.41899\sigma, R = 0.99848 \quad (2)$$

$$\tau_{8\%} = 84.0615 + 0.4287\sigma, R = 0.99887 \quad (3)$$

$$\tau_{12\%} = 107.169 + 0.48342\sigma, R = 0.99113 \quad (4)$$

$$\tau_{16\%} = 101.3245 + 0.43927\sigma, R = 0.99499 \quad (5)$$

各直线相关系数R均大于0.8，可认为拟合程度较好，整理得到不同贝壳掺量下的试样抗剪强度指标如表3所示。

以上结果表明，掺入贝壳后能有效提高膨胀土的抗剪强度指标，并且在12%掺量时，土样的抗剪强度指标提高幅度最大，继续掺加贝壳，抗剪强度增幅不大。

表 3 不同贝壳掺量改良膨胀土的抗剪强度指标
Tab.3 The shear strength of expansive soil improved by different shell contents

抗剪强度指标	贝壳掺量 /%				
	0	4	8	12	16
c/kPa	69.77	83.16	84.06	107.17	101.32
$\phi/^\circ$	21.74	22.73	23.20	25.80	23.71

3.1 贝壳掺量对粘聚力的影响

从图 2 中可以看出,随着贝壳掺量的增加,试样的粘聚力也不断增加,但 16% 贝壳掺量时粘聚力没有继续增大。最大的粘聚力出现在贝壳掺量为 12% 的试样上,比素土的 69.77 kPa 提高了 53.50%。这表明掺入贝壳能够有效提高膨胀土的粘聚力。这是因为掺入贝壳后,贝壳颗粒与土体颗粒胶结在一起,改变了土体的结构性,当土体被剪切,贝壳颗粒与土体颗粒产生了拉应力,即提高了颗粒间的引力,使土体的粘聚力变大,从而阻止土体的剪切破坏。贝壳颗粒较少时,土体颗粒能与贝壳颗

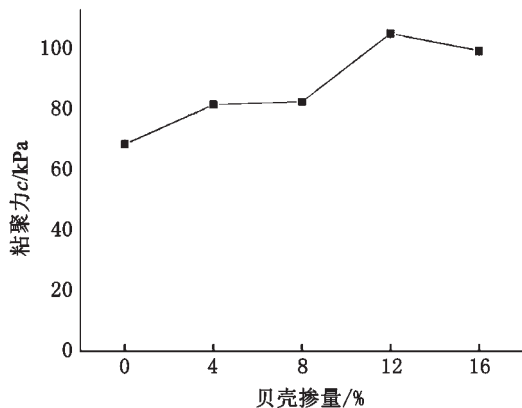


图 2 粘聚力与贝壳掺量的关系

Fig.2 The relationship between cohesion and volume of shell

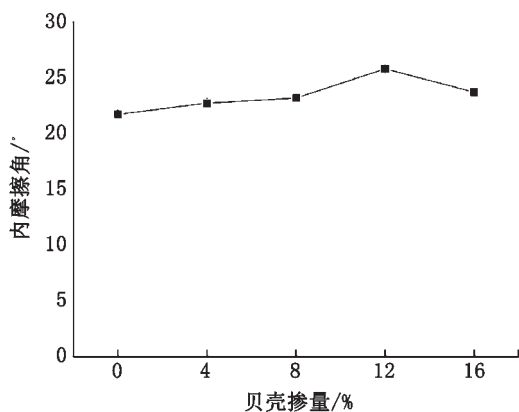


图 3 内摩擦角与贝壳掺量的关系

Fig.3 The relationship between internal friction angle and volume of shell

粒较好的胶结在一起,当贝壳掺量达到 16% 时,贝壳颗粒过多,颗粒之间互有重叠,反而形成了薄弱面,对土体颗粒之间形成了隔离作用,破坏了土体的结构性,使得土体颗粒间的引力降低,因此粘聚力没有继续增大。

3.2 贝壳掺量对内摩擦角的影响

土体的内摩擦角 ϕ 反映了土体的摩擦特性,提供了土体的摩擦强度,摩擦强度分为咬合摩擦和滑动摩擦,两者共同概化为摩擦角。土体颗粒交错排列使得土体遭受剪切作用时,剪应力迫使土体颗粒抬起越过相邻颗粒,这时所消耗的剪应力即为土体的摩擦强度。

由图 3 可以看出素土的内摩擦角为 21.74° ,随着贝壳掺量的增加,内摩擦角先增大后减小,当贝壳掺量达到 12%,内摩擦角达到最大值 25.80° ,由此证明贝壳的加入可以提高膨胀土的摩擦强度。这是因为贝壳掺入土体后,贝壳颗粒与土体颗粒胶结在一起,使得土体受剪切时土体颗粒要越过贝壳颗粒时比原先所受的阻力更大,土体的咬合摩擦力增加,即内摩擦角变大。当贝壳逐渐增多时,贝壳颗粒之间互有重叠,不能与土体颗粒很好的胶结,使得土体变得松散,提高了孔隙比,孔隙增多为土体颗粒的移动提供了便捷通道,使得土体受剪应力作用时土体颗粒移动所受阻力减小,咬合摩擦力变小,即内摩擦角变小。

4 结论

1) 掺入贝壳能够有效提高膨胀土的抗剪强度,随着贝壳掺量的提高,抗剪强度先增大后减小,12% 贝壳掺量时,改良土的抗剪强度达到最大。

2) 掺入贝壳能有效提高改良土的粘聚力,在 12% 贝壳掺量的时候,粘聚力最大。

3) 掺入贝壳后,改良土的内摩擦角有所增大,但是增加的幅度不大,在 12% 贝壳(下转第 49 页)

6 结论

1) 目前国内盾构端头井加固大都采用高压旋喷桩加固,但是在粉土、粉砂层成桩效果不理想,达不到防水和止水的要求。所以根据工程地质和水文地质综合分析,对加固方法进行了改良。

2) 针对天津地质条件,通过计算分析,天津地铁2号线靖江路车站西侧盾构端头井采用高压旋喷桩和袖阀管注浆联合加固地层,固结地下砂层,提高软土自稳能力,加固效果比较理想,接收井围护结构凿除后有良好的自稳性,阻止了砂土和水涌入,保证了盾构顺利接收。

参考文献:

[1] 崔奕. 天津地铁一号线土建工程关键技术问题研究

[D]. 天津: 天津大学, 2008: 24-45.

[2] 胡新朋, 孙谋, 王俊兰. 软土地区地铁盾构施工端头土体加固要求探讨[J]. 隧道建设, 2006, 26(5): 11-13.

[3] 吴韬. 大型盾构进出洞施工技术及其加固土体受力机理分析[D]. 上海: 同济大学, 2006: 21-26.

[4] 孙振川. 城市地铁盾构法隧道软土地段端头地层加固技术[J]. 西部探矿工程, 2003, 89(10): 81-83.

[5] 杨凤玲. 高压旋喷桩复合地基在高层住宅楼中的应用[D]. 上海: 同济大学, 2004: 42-48.

[6] 王俊. 旋喷桩与袖阀管注浆在桥梁桩基加固中的应用[J]. 铁道建筑, 2013(9): 24-26.

[7] 白云, 周松. 软土地下工程施工技术[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2000.

(上接第40页) 掺量时达到最大。

参考文献:

[1] 孙树林, 郑青海, 唐俊, 等. 碱渣改良膨胀土室内试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(6): 1608-1612.

[2] 张雁, 康雪成, 郭利勇. 石灰煤矸石改良膨胀土工程特性研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(9): 2720-2724.

[3] 黎新春. 风化砂改良膨胀土特性试验研究[D]. 宜昌: 三峡大学, 2014.

[4] 查甫生, 郝爱玲, 赵林, 等. 电石渣改良膨胀土试验研究[J]. 工业建筑, 2014, 44(5): 65-69.

[5] SHAHBAZI M, ROWSHANZAMIR M, ABTAHI S M, et al. Optimization of carpet waste fibers and steel

slag particles to reinforce expansive soil using response surface methodology[J]. Applied Clay Science, 2017, 142(6):182-192.

[6] 钱叶琳, 王洁, 吕卫柯, 等. 黄麻纤维加筋土的强度特性及增强机理研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2016, 33(2): 19-24.

[7] 黄震, 陈铖. 改良膨胀土胀缩裂隙及与抗剪强度的关系研究[J]. 水文地质工程地质, 2016, 43(3): 87-93.

[8] 邓友生, 吴鹏, 赵明华, 等. 基于最优含水率的聚丙烯纤维增强膨胀土强度研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(2): 349-353.

[9] 李金志. 贝壳的综合利用[J]. 淮海工学院学报, 2001, 6(10): 22-23.