

文章编号: 1000-7598-(2007)02-0391-04

含水率对加筋膨胀土强度的影响

丁万涛¹, 雷胜友²

(1. 山东大学 岩土与结构工程研究中心, 济南 250061; 2. 长安大学, 西安 710064)

摘要: 通过室内加筋三轴剪切试验, 得出最优含水率附近两种不同含水率的加筋膨胀土的应力-应变关系曲线。分析试验曲线可知, 相同含水率时试样的强度随着加筋层数、周围压力的增加而增大; 同围压、同加筋层数的试样的含水率略微的减少, 引起强度明显的增加, 表明加筋膨胀土强度的水敏感性。

关键词: 三轴试验; 加筋膨胀土; 含水率

中图分类号: TU 411.7; TU 443

文献标识码: A

Influence of water contents on strength of reinforced expansive soils

DING Wan-tao¹, LEI Sheng-you²

(1. Research Center of Geotechnical & Structural Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The stress-strain curves of two kinds of reinforced expansive soil with different water contents around optimal value are obtained by triaxial shear test on reinforced soils. The strength of the sample with the same water contents gets stronger with the increase of reinforced layers and confinement pressure; the strength of the sample under the same confinement pressure and reinforced layers increases obviously by reducing slightly its water contents; and the result that the strength of reinforced expansive soil is sensitive to water contents is gained by analyzing the test curves.

Key words: triaxial test; reinforced expansive soils; water contents

1 引言

膨胀土是指含有大量的强亲水性黏土矿物成分、具有显著的吸水膨胀和失水干缩, 且胀缩变形往复可逆的高塑性黏土。膨胀土在我国分布广、面积大, 随着人们对膨胀土的重视, 开始把膨胀土作为一种特殊土来研究, 发现膨胀土的特殊工程性质是受其特殊的矿物化学成分控制^[1]。

土中加筋近年来得到了广泛推广应用, 许多加筋土三轴试验表明土体加筋后强度得到很大的提高, 但关于加筋后膨胀土的水敏性特征是否同时得到一定程度的改善国内外开展的研究较少, 而在膨胀土地区一般都利用加筋处理的工程, 因此有必要清楚含水率的变化对加筋膨胀土强度的影响程度, 以考察工程的可靠性^[2, 3]。

2 非饱和土的强度理论

非饱和土的强度特性非常复杂, 不仅与土的结构、应力路径、密度有关, 还与土的含水率或饱和

度密切相关。非饱和土的强度理论是以 Mohr-Coulumb 准则为基础, 可分为两类, 一类是 Bishop 公式, 即

$$\tau_f = c' + [(\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w)] \tan \varphi' \quad (1)$$

式中: c' 和 φ' 分别为有效黏聚力和有效内摩擦角; u_a 为孔隙气压力; u_w 为孔隙水压力; χ 为与饱和度和有关的经验常数。

另一类是 Fredlund 的双变量公式^[4]:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \varphi' + (u_a - u_w) \tan \varphi^b \quad (2)$$

式中 φ^b 为强度随吸力变化的内摩擦角。

在土中加入纤维、土工布等筋材后, 土的力学性质明显改变, 提高了土的抗剪强度。国内外大量试验表明, 土中加筋增加了土的黏聚力 c 值, 而内摩擦角 φ 无明显的变化。利用等效围压原理, 在分析加筋试样破坏时不用分开考虑筋材和土的作用, 只是把加筋土等效为增加了附加应力 $\Delta\sigma_{3f}$ 的素土体, 因此分析加筋膨胀土强度时可结合等效围压原理和 Bishop 公式或 Fredlund 的双变量公式, 加筋膨

胀土强度公式为

$$\tau_f = c'' + \sigma'' \tan \varphi'' \quad (3)$$

式中: c'' 为加筋后土的有效黏聚力; φ'' 为加筋后作用在土体上的正应力, 但 c'' 和 φ'' 不再是常数, 它们包括膨胀土的吸力和膨胀土的结构对强度的贡献, 其中还体现筋材对膨胀土吸力强度和孔隙气压力的扰动作用。关于非饱和土体中的饱和度-吸力关系的研究, 前人通过大量试验^[5-8]提出土水特征曲线描述了它们之间的关系: 吸力随着饱和度的增加而减小。对于某一工程土体, 土的结构、密度在局部范围内不会再有太大的变化。相对而言, 含水率的变化对强度的影响要强于其他因素, 对工程的影响要更加的明显, 本文在室内试验的基础上针对含水率的变化对加筋膨胀土的影响进行了研究。

3 试验材料、设备及试验方法

试验土样取自徐州某地, 色呈黑色, 中间混合有褐色铁锰质结核和钙质结核, 自由膨胀率为 64.6 %, 属弱膨胀土。比重为 2.70, 液限为 42.6 %, 塑限为 22.5 %, 塑性指数为 20.1, 最优含水率为 22.6 %, 颗粒级配曲线如图 1 所示。

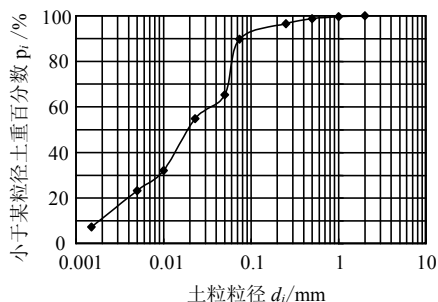


图 1 颗粒级配曲线

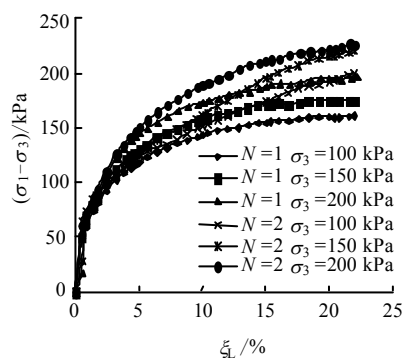
Fig.1 Grain composition curve

由图 1 可知, 直径大于 0.074 mm 的颗粒占 10.25 %, 粒径在 0.074~0.001 5 mm 之间的粉粒占 82.45 %, 粒径小于 0.001 5 mm 的黏粒占 7.3 %, 由此得该膨胀土的不均匀系数 $C_u = 13.9$, 曲率系数 $C_c = 1.8$, 属级配良好的土。加筋材料为纱窗, 其单宽极限抗拉强度 $R_t = 0.005\ 64$ kPa, 延伸率 $\delta = 41$ %。试验在应变控制式 TSZ30-2.0 三轴仪上进行, 剪切速率控制为 0.9 mm/min, 试样直径 $D = 6.18$ cm, 高度 $H = 12.5$ cm。为了研究含水率对加筋膨胀土强度的影响, 分别取含水率为 20.2 % 和 23.2 %, 压实系数为 0.9 的土样进行试验。试样制备采用分层击实法, 并在预定的位置刨毛置筋, 成样后拉筋的偏差控制在 1 mm 之内, 加筋层数 $N=1\sim 2$, 进行剪切三轴试验^[8,9]。

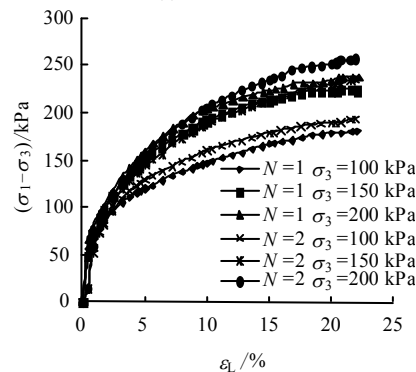
4 试验结果整理分析

4.1 相同含水率的加筋试样强度与围压、加筋层的关系曲线分析

从图 2 的应力-应变关系曲线可知, 随着轴向应变的增加, 主应力差在不断增加且应力无峰值, 说明该曲线为硬化型。当轴向应变在 5 % 以内时, 相同的轴向应变下围压大的曲线的主应力差比围压小的低, 说明筋材在小应变低围压下发挥作用比高围压快。应力-应变关系比较曲线显示, 在相同围压、相同含水率的情况下加筋膨胀土的强度随着加筋层数的增加而增大, 其中 ω 为含水率, N 为层数。



(a) $\omega = 23.2$ %



(b) $\omega = 22.6$ %

图 2 加筋土应力-应变关系曲线

Fig.2 Stress-strain curves under different reinforced layers

4.2 不同含水率对加筋土强度影响曲线分析

比较图 3 可见, 在相同加筋层下加筋膨胀土的强度随着围压的增加而增大, 在相同围压和加筋层数下含水率小的加筋土的强度越大, 说明含水率的变化对加筋土的强度产生影响。比较表 1 中不同含水率时加筋土的强度指标值可知, $\omega = 22.6$ % 时的 c 值比 $\omega = 23.2$ % 的值略小, 但 φ 值则远远超出 ω 值, 综合 c 、 φ 值并通过图 3 可知, 相同围压和加筋层数下 $\omega = 22.6$ % 时的强度高于 $\omega = 23.2$ % 的强度, 说明膨胀土最佳含水率附近含水率低的土样的强度较

高, 两种含水率的差值仅为 0.6 %, 但两种土体试样的强度却有明显的变化, 表明膨胀土的强度对于水分的多少非常敏感, 这就要求在进行膨胀土试验时试样制备过程中要严格控制含水率的范围, 以确保试验的准确性。

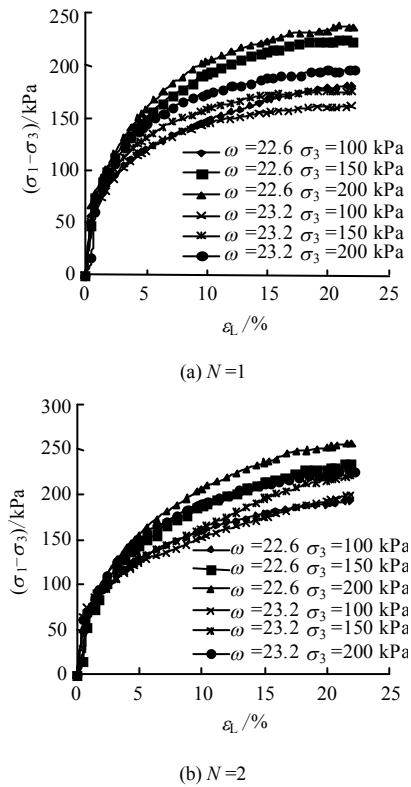


图3 不同含水率应力-应变关系曲线

Fig.3 Stress-strain curves under different water content

通过加筋三轴试验, 由摩尔圆的强度包络线可得 4 个强度曲线方程: 当 $\omega = 22.6\%$ 时,

$$\left. \begin{aligned} \tau_{f1} &= 48.28 + \sigma'' \tan 17.96^\circ; \\ \tau_{f2} &= 56.53 + \sigma'' \tan 18.15^\circ \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

当 $\omega = 23.2\%$,

$$\left. \begin{aligned} \tau_{f1} &= 52.97 + \sigma'' \tan 8.2^\circ; \\ \tau_{f2} &= 58.27 + \sigma'' \tan 8.93^\circ \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

由式 (4)、式 (5) 可知, 在相同含水率下加筋土的强度随着加筋层数的增加而增大, 且土体抗剪强度的提高只使土体的黏聚力 c 值有了明显的提高, 而内摩擦角 ϕ 没有明显的变化。比较二式, 在含水率增加 0.6% 的情况下, 一层加筋土体的黏聚力却增加了 9.71 %, 内摩擦角下降了 54.3 %; 二层加筋土体的黏聚力增加了 3.07 %, 而内摩擦角却下降了 50.8 %, 说明对加筋土来说, 含水率的增加对内摩擦角的影响比对黏聚力的影响要大得多。文[10]利用直剪试验对素膨胀土强度研究, 表明含水率的

增加对黏聚力的影响比对摩擦角的影响要大得多。笔者认为, 加筋土三轴试验出现的结果与文[2]有出入的原因, 是由于加筋的作用使得膨胀土的结构对强度的贡献减弱, 同时由于加筋与土体之间的摩擦和嵌固效应的作用 (筋材为网眼状)。

通过分析对该现象可作如下解释: 非饱和土由于吸力的存在使土体稳定的结构力增大, 土中加入筋材后相对削弱了膨胀土的结构对土体强度的贡献, 但加筋并没有从本质上改变膨胀土的组成成分, 加筋后膨胀土吸水后吸力同样会下降, 只是由于筋材对土体的吸力强度的扰动作用, 加筋膨胀土的吸力下降的不如素膨胀土那么明显, 但同样结构力会相应的减小, 使得土体的抗剪强度降低^[11]。由摩尔圆的包络线得出强度指标值见图 4 和表 1。

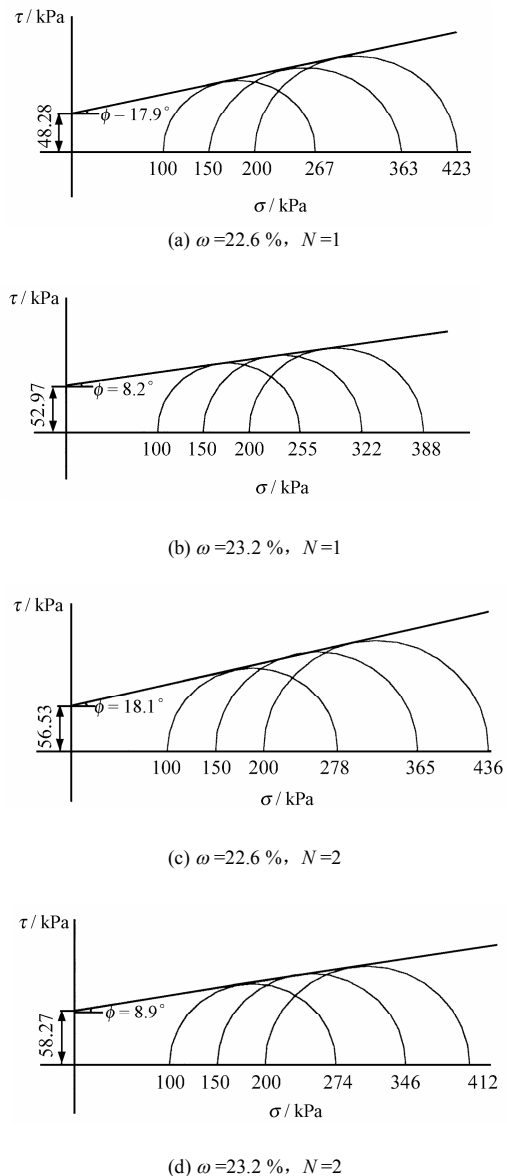


图4 不同加筋层数和不同含水率下的加筋试样的强度包络线

Fig.4 Strength envelop of reinforced sample under different reinforced layers and water contents

表 1 不同含水率时加筋土的强度指标
Table1 Strength index of reinforced soil under different water contents

含水率 /%	强度 指标	加筋层数/层		备注
		N=1	N=2	
$\omega=22.6$	c/kPa	48.28	56.53	$\varepsilon_L=15\%$ $K=0.9$
	$\phi/(^\circ)$	17.96	18.15	
$\omega=23.2$	c/kPa	52.97	58.27	$\varepsilon_L=15\%$ $K=0.9$
	$\phi/(^\circ)$	8.2	8.9	

5 结 论

本次试验研究可以得到如下结论:

(1) 筋材的加入引起膨胀土的结构和吸力强度扰动, 削弱了加筋膨胀土的结构对其强度的影响。

(2) 加筋膨胀土的强度随着含水率的增加而明显降低, 摩擦角的下降比黏聚力下降更明显, 说明加筋膨胀土的强度对含水率的变化比较敏感。

(3) 对于在膨胀土地区的工程, 一定要注意含水率的变化对膨胀土强度的影响, 综合考虑该地区的全年降水情况, 结合实际情况分析和处理该地区工程建设中应如何处理膨胀土, 是用物理方法合适还是用化学方法来改变膨胀土的性质合适; 如果全年降水比较均匀, 用加筋处理膨胀土地区工程建设是一种可行的方法, 如果全年降水不均, 有的月份多, 有的月份少, 就要考虑改变膨胀土的性质, 利用化学改性的方法来处理该地区工程的建设问题。

本文从含水率的变化来研究加筋膨胀土的强度特性, 研究成果反映了加筋膨胀土强度变化的一个重要侧面, 对于加筋膨胀土的强度特性的全面研究还有待深入。

参 考 文 献

- [1] 肖荣久. 陕南膨胀土及其灾害地质研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1995.
- [2] 丁万涛, 谭新. 加筋膨胀土的三轴试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22 (增 1): 2 367—2 370.
DING Wan-tao, TAN Xin. Study on reinforced expansive soils by trial tests[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2003, 22(Supp.1): 2 367—2 370.
- [3] Fredlund D G, Morgenstern N R, Widger R A. The shear strength of unsaturated soils[J]. **Canadian Geotechnical Journal**, 1978, 15: 313—321.
- [4] Gan J K M, Fredlund D G, Rahardjio H. Determination of shear strength parameters of an unsaturated soil using direct shear test[J]. **Canadian Geotechnical Journal**, 1988, 25: 500—510.
- [5] 赵颖文, 孔令伟, 郭爱国, 等. 广西原状红黏土力学性状与水敏性特征[J]. 岩土力学, 2003, 24(4): 568—572.
ZHAO Ying-wen, KONG Ling-wei, GUO Ai-guo, et al. Mechanical behaviors and water-sensitive properties of intact Guangxi laterite[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2003, 24(4): 568—572.
- [6] 王钊, 骆以道, 肖衡林, 等. 运城黄土吸力特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(1): 51—54.
WANG Zhao, LUO Yi-dao, XIAO Heng-lin, et al. Experimental study on suction characteristics of loess in Yuncheng Region[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2002, 23(1): 51—54.
- [7] 缪林昌, 刘松玉. 南阳膨胀土的水分特征和强度特性研究[J]. 水利学报, 2002, (7): 87—92.
MIAO Lin-chang, LIU Song-yu. Soil-water characteristics and shear strength of expansive soil[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2002, (7): 87—92.
- [8] SD 128—84, 土工试验规程[S].
- [9] 缪林昌, 仲晓晨, 殷宗泽. 膨胀土的强度与含水率的关系[J]. 岩土力学, 1999, 20(2): 71—75.
MIAO Lin-chang, ZHONG Xiao-chen, YIN Zong-ze. The relationship between strength and water content of expansive soil[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 1999, 20(2): 71—75.
- [10] 李广信, 陈伦, 郑继勤, 等. 纤维加筋粘性土的试验研究[J]. 水利学报, 1995, (6): 31—36.
LI Guang-xin, CHEN Lun, ZHENG Ji-qin, et al. Experimental study on fiber-reinforced cohesive soil[J]. **Shuili Xuebao**, 1995, (6): 31—36.
- [11] 丁万涛. 加筋膨胀土强度特性研究[D]. 西安: 长安大学, 2002.