

非饱和黄土的结构强度及其作用

党进谦

(西北农业大学水利与建筑工程学院,陕西杨凌 712100)

摘 要 用快剪法测定非饱和黄土的结构强度。结果表明,非饱和黄土的结构强度可用其原始结构破坏后所丧失的强度衡量,结构强度与初始含水量间具有显著的幂函数关系,非饱和黄土的抗剪强度可用其结构强度描述。文中还给出了非饱和黄土结构强度终止含水量的概念。

关键词 非饱和黄土,结构强度,抗剪强度,含水量

分类号 TU411.2

在干旱半干旱的特定环境中,非饱和黄土形成了独特的结构特性,存在于其结构中粗粉粒接点处的胶结物质胶结而成的联结强度(非饱和黄土的结构强度),对非饱和黄土的工程性质起着主要作用^[1]。非饱和黄土在低含水量下强度较高,但浸水时其强度迅速降低,原因可归属于水分对胶结物质的软化作用。现有资料^[1,2]表明:由于结构强度的影响,非饱和黄土的抗剪强度不能完全符合库仑定律,如仍按直线来回归试验结果,所得强度指标不能反映实际情况。文献[3,4]指出:非饱和黄土的湿陷变形能否发生,完全取决于其结构强度是否丧失及丧失程度。因此,要认识非饱和黄土的工程性质,首先应充分了解其结构特征。本文采用快剪法测定非饱和黄土在不同初始含水量下的结构强度,寻求非饱和黄土结构强度的变化规律,探讨结构强度在非饱和黄土工程性质研究中的作用。

1 材料与方法

1.1 土样的基本物理性质

试验所用非饱和黄土为 Q₃ 黄土,取自杨凌渭河北台塬坡地,取土深度 5.0 m 左右,土样呈褐黄色,土质均匀,坚硬状态,针状大孔隙发育。其基本物理性质指标见表 1。

表 1 土样基本物理性质指标

$w /$ ($g^{\circ} kg^{-1}$)	$d /$ ($g^{\circ} cm^{-3}$)	G_s	e	$W_L /$ ($g^{\circ} kg^{-1}$)	I_p	颗粒组成 /mm			
						0.1~0.05	0.05~0.005	<0.005	
131	1.73	2.72	0.778	330	13.0	6.0	71.0	23.0	

1.2 研究方法

将现场所取原状土样分别制成不同初始含水量的原状试样及相应的(同密度、同含水量)重塑试样。制备过程是先将风干土样碾碎,过筛,拌匀,按所需含水量加水再拌匀,保湿静置一昼夜后再分层压实到原状试样的密度。含水量分别控制为 67, 82, 102, 130, 152,

收稿日期 1997-11-02
课题来源 李仪祉科技工作者科研活动基金资助项目
作者简介 党进谦,男,1964年生,讲师,硕士

173, 193, 215, 236, 254 g/kg 10 个初始含水量 分别测定每一初始含水量的原状试样与相应的重塑试样的应力-应变曲线

试验在 EDJ-1 型二速电动应变控制式直剪仪上进行。试验方法为快剪法, 剪切速率 12 r/min, 剪切历时 3~ 5 min.

2 结果与分析

2.1 非饱和黄土的结构强度

结构强度是土在生成过程中由胶结物质所形成的联结强度。非饱和黄土在生成过程中形成了以粗粉粒为主体骨架的架空结构, 在粗粉粒间接点处的微小颗粒、腐植质胶体及可溶盐等一起形成了胶结性的联结, 该联结强度即为非饱和黄土的结构强度。结构强度与非饱和黄土在正常压密情况下的强度共同保持着土体的天然结构。当非饱和黄土的天然结构在外力作用下发生破坏时, 胶结物质形成的联结强度逐渐丧失, 但其在正常压密情况下的强度 (包括颗粒间的分子引力和摩擦力) 不变。因此, 非饱和黄土的结构强度应定义为粗粉粒间接点处的胶结物质产生的联结强度, 其大小为非饱和黄土的天然结构破坏时所丧失的强度, 即非饱和黄土结构强度的大小可用其天然结构破坏时原状黄土与相应的 (同容重、同含水量) 重塑黄土的应力差表示

初始含水量为 102 g/kg 的原状黄土与相应的重塑黄土的应力-应变曲线见图 1.

1. 原状黄土的应力-应变曲线有一明显的转折点, 重塑黄土的应力-应变曲线为应变硬化型。图 1 中曲线 3 为原状黄土与相应的重塑黄土的应力差随应变量的变化曲线, 该曲线分为两段, 其分界点与原状黄土应力-应变曲线的转折点相对应。在分界点之前, 应力差随应变量的增加急剧增大, 即非饱和黄土的结构强度迅速发挥, 到分界点处达到极大值; 之后应力差随应变量的增加逐渐减小, 最后趋近于零, 表明非饱和黄土的天然结构逐渐发生破坏, 即分界点为非饱和黄土天然结构发生破坏的起点。因此, 本试验取原状黄土应力-应变曲线转折点处所对应的应力差为非饱和黄土的结构强度。

2.2 非饱和黄土的结构强度变化规律

非饱和黄土在不同初始含水量下的结构强度及强度指标见表 2。表 2 表明, 非饱和黄土的结构强度随初始含水量的增大而连续降低。非饱和黄土中的胶结物质处于特殊的微晶体状态, 且具有较强的吸附作用^[5]。因此, 含水量的变化对非饱和黄土的结构强度影响很大, 当含水量增大时, 胶结物质逐渐溶解并产生松弛作用, 削弱了胶结物的联结能力, 引起结构强度降低。

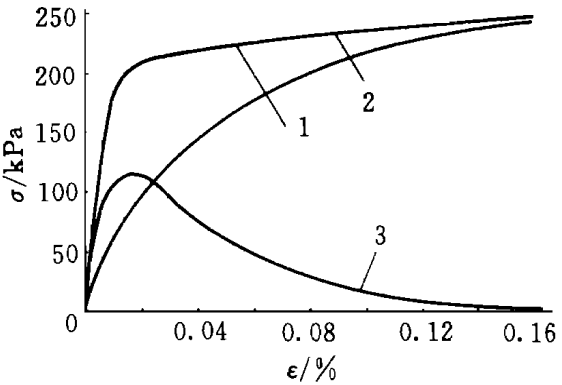


图 1 应力-应变关系曲线 ($w = 102 \text{ g/kg}$)

1. 原状土; 2. 重塑土;
3. 原状土与重塑土应力差-应变曲线

表 2 不同初始含水量下的结构强度

$w/(g \cdot kg^{-1})$	q_s/kPa	C_T/kPa	C_s/kPa	h_T	h_s
67	180	110	90	22.94	21.68
82	134	90	73	22.79	21.44
102	96	70	57	22.61	21.21
130	66	52	40	22.47	21.00
152	46	42	31	22.30	20.83
173	36	34	25	22.08	20.61
193	28	28	21	21.89	20.40
215	22	23	18	21.54	20.22
236	17	19	16	21.18	20.07
254	14	16	15	20.80	19.96

将表 2 实测结构强度与对应初始含水量点绘于直角坐标系中 (图 2), 知非饱和黄土的结构强度与初始含水量之间呈幂函数关系, 可描述如下:

$$q_s = Aw^\lambda \tag{1}$$

式中: q_s 为非饱和黄土的结构强度 (kPa); w 为初始含水量 (g/kg); A, λ 为由土的性质决定的参数

回归分析得到试验所用非饱和黄土的参数 $A = 5.5 \times 10^5, \lambda = -1.885$, 相关系数 $R^2 = 0.967$, 结构强度与初始含水量间关系曲线见图 2 由表 2 图 2 可知, 非饱和黄土的结构

强度随初始含水量的逐渐增大而向弱性转化。当非饱和黄土的初始含水量大于某一值时, 其结构强度很小, 甚至消失, 本文将该含水量定义为非饱和黄土结构强度终止含水量

有关结构强度终止含水量的概念, 目前在国内外资料中尚未看到 本文根据试验结果提出了“结构强度终止含水量”概念, 其含义为非饱和黄土的结构强度消失或可忽略时的最小含水量, 用 w_{so} 表示 结构强度终止含水量可预测非饱和黄土的工程性能, 当非饱和黄土的天然含水量小于结构强度终止含水量时, 其强度较高, 压缩变形量小, 但会发生湿陷变形; 反之其强度较低, 压缩变形量增大, 但不会发生湿陷变形 而结构强度终止含水量的判断标准及其影响因素尚有待进一步研究

3 结构强度的作用

文献 [6] 研究表明, 非饱和黄土的抗剪强度可表示为:

$$\tau_f = c + e_t g h + b s^d \tag{2}$$

式中: $b s^d$ 为非饱和黄土基质吸力所产生的强度分项, 即吸附强度。非饱和黄土基质吸力 (s) 的测定十分复杂, 至今仍只能在研究机构中进行, 因而公式 (2) 很难被黄土地区的现场工程师所采用 文献 [7] 及本研究结果表明, 非饱和黄土的基质吸力和结构强度均与初始

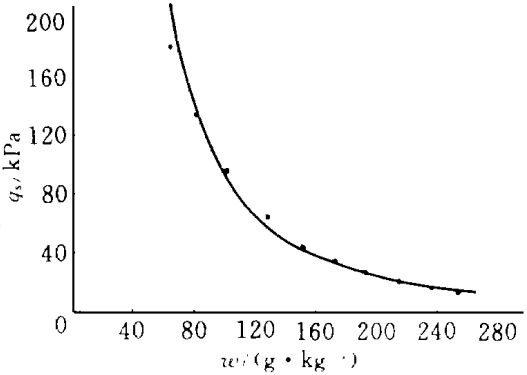


图 2 结构强度与初始含水量关系曲线
· 实测点; — 拟合曲线

含水量之间有非常显著的幂函数关系,且结构强度只需简单的常规仪器设备即可进行测试。因此,本文拟用结构强度表示非饱和黄土的吸附强度。

由公式 (2)知,非饱和黄土的吸附强度 f_s 可表示为:

$$f_s = bs^d \tag{3}$$

由文献 [7]知,非饱和黄土的基质吸力 s 可表示为:

$$s = aw^T \tag{4}$$

则非饱和黄土的吸附强度可用下式表示:

$$f_s = Bw^U \tag{5}$$

比较 (1)、(5)式可知,吸附强度 f_s 用结构强度 q_s 表示为:

$$f_s = mq_s \tag{6}$$

式中, m 为随土类而变化的参数。因此,非饱和黄土的抗剪强度公式可表示为:

$$\tau_f = c + e_{tg}h + mq_s \tag{7}$$

本文只给出了非饱和黄土抗剪强度公式的一种设想, (7)式可为非饱和黄土抗剪强度的研究工作提供一种新的途径,但该式中参数 m 值及其变化规律需进一步研究

参 考 文 献

1 张云鹏.黄土的抗剪强度.见:中国科学院土建筑研究所土力学研究室编.黄土基本性质的研究.北京:科学出版社,1961.104~124

2 张 炜,张苏民.非饱和黄土的结构强度特性.水文地质工程地质,1991(4):22~25

3 廖胜修.黄土的显微结构与湿陷性.见:章连洋,查金星编.中国土木工程学会第六届土力学及基础工程学术会议论文集.上海:同济大学出版社,1991.131~134

4 吴 侃,郑颖人.黄土结构性研究.见:章连洋,查金星编.中国土木工程学会第六届土力学及基础工程学术会议论文集.上海:同济大学出版社,1991.93~96

5 林崇义.黄土的结构特性.见:中国科学院土建筑研究所土力学研究室编.黄土基本性质的研究.北京:科学出版社,1961.1~10

6 党进谦,李 靖.非饱和黄土的强度特征.岩土工程学报,1997,19(2):56~61

7 党进谦,李 靖.非饱和黄土水分特征曲线的研究.西北农业大学学报,1997,25(3):55~58

The Construction Strength of Unsaturated Loess and Its Use

Dang Jingqian

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwestern
Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract With quick shear tests, the structure-strength of unsaturated loess can be measured with the lost strength after the initial structure is destroyed. There is an obvious power function relationship between the structure-strength and initial water content. The shear strength of unsaturated loess can be described by its structure-strength. The conception about the terminal water content of the unsaturated loess structure-strength is put forward as well.

Key words unsaturated loess, structure strength, shear strength, water content