

非饱和黄土抗拉强度的研究

党进谦,郝月清,李 靖

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西 杨陵 712100)

摘要 分析了非饱和黄土抗拉强度的来源,研究了非饱和黄土抗拉强度的特性,结果表明:密度和含水量是非饱和黄土抗拉强度的主要影响因素,非饱和黄土在拉应力下的破坏一般为脆性破坏,抗拉强度与初始含水量呈幂函数关系,试样破坏时的极限拉应变随初始含水量的增大而变大。

关键词 非饱和黄土 抗拉强度 含水量

中图分类号 :TU411.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2001)06-0106-03

在土体强度特性的研究中,过去多侧重于抗压强度和抗剪强度,对抗拉强度的研究较少。然而在许多土工问题的研究分析和设计中,必须考虑土抗拉强度的影响^[1]。近年来,随着高土石坝的修建和产生裂缝的土石坝的逐渐增多,在研究土石坝中能否出现拉裂缝和对已产生裂缝原因的分析及处理方案的设计中,必须测定土的抗拉强度。在水土保持工作中,研究土的抗冲蚀性和雨滴击溅对土粒的溅散作用时,也要考虑土的抗拉强度的影响。在利用有限元法计算既可能出现拉应力又可能出现压应力的土体中的应力和应变时,应同时考虑土在受压和受拉时的应力、应变关系。因此,对土的抗拉特性的正确认识在土工问题的分析和设计中,在土壤侵蚀的研究中日益重要。笔者用自制的单轴土工拉伸仪测定陕西关中地区非饱和黄土的抗拉强度指标,试图寻求非饱和黄土抗拉强度的变化规律。

1 土体的抗拉强度及其测定

土的强度是指土体抵抗破坏的能力,抗拉强度为土体抵抗拉裂破坏的能力。土在拉应力下的应力、应变关系曲线为应变硬化型,即随拉应力的逐渐增大,应变也逐渐增大,直至破坏。因此,土的抗拉强度为土在拉应力作用下表现的极限抵抗能力,其表示指标为极限抗拉强度 σ_t 和极限拉应变 ϵ_t 。

非饱和土的抗拉强度主要来源于三种作用力:(a)由水膜的物理化学作用、粘土矿物颗粒的粘结和颗粒间的分子引力形成的凝聚力,这部分力的大小直接取决于土颗粒的粗细(含粘量的多少)和土体固结情况,粘性土生成以后始终保持着它的原始凝聚力,只要其密度不发生变化,原始凝聚力比较稳定可靠^[2];(b)由碳酸盐、石膏及包围在颗粒外部的盐类薄膜胶结形成的加固凝聚力,其大小与土中胶结物质的成分和数量、以及土的含水量有关,对于同一种土,随土体含水量的增大,加固凝聚力减小或完全消失;(c)非饱和土的基质吸力和毛细压力形成的吸附强度,随土的饱和度的增大逐渐减小,直至土体接近饱和时完全丧失^[3]。由此可见,非饱和土抗拉强度的大小主要取决于土颗粒的粗细、土中胶结物质的成分和多少、土的密度和含水量,而与外力无关。对于同一种土,密度和含水量是其抗拉强度的主要影响因素。

本研究在自行研制的单轴土工拉伸仪上进行,研究用土为陕西关中地区马兰黄土,其基本物理性质指标见表 1。将土制成不同初始含水量的试样多组,用单轴土工拉伸仪测定各组试样的抗拉强度及在拉应力下的应力、应变关系,试样的拉伸速率为 0.2 mm/min。用直剪仪测定土的快剪指标,各组试样的抗剪强度及抗拉强度指标见表 2。在试验过程中,试样的两侧各安装一块百分表,同时进行变形量测,试验中无偏心发生。

表 1 土样的物理性质指标

Table 1 Physical-mechanical properties of loess sample

w /%	ρ_d /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	G_s	e	颗粒组成/%			w_l /%	I_p
				0.1~0.05 mm	0.05~0.005 mm	<0.005 mm		
16.3	1.38	2.705	0.96	7.5	66.7	25.8	32.2	13.6

2 黄土在拉伸过程中的性状

同一种土样在相同干密度下,抗拉强度主要受含水量的影响,不同初始含水量试样的单轴拉伸试验的典型结果见图 1,由图 1 可知,非饱和黄土在拉应力下的应力、应变关系曲线均表现为应变硬化型,随着拉应力的逐渐增大,拉应变也逐渐增大,直至破坏.在整个拉伸过程中应力随应变的增长速度比较均匀.直剪试验的应力、应变曲线表明,在小应变下应力随应

表 2 试验成果

Table 2 Experimental results

w /%	ρ_d /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	c /kPa	φ /($^{\circ}$)	σ_t /kPa	ϵ_t /%
17	1.38	71.5	25°52′	52.5	0.117
19	1.38	46.1	25°39′	36.2	0.126
21	1.38	33.7	25°20′	26.6	0.143
23	1.38	25.6	24°57′	18.8	0.169
25	1.38	20.2	24°42′	15.1	0.233
19	1.43			40.4	
19	1.50			49.7	

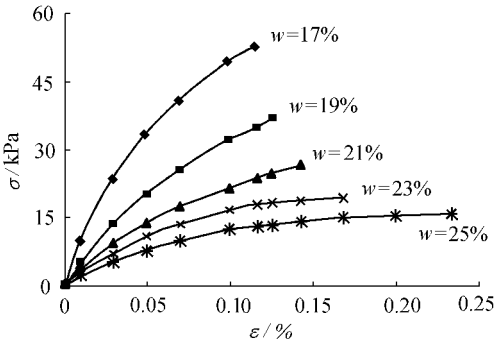


图 1 应力 - 应变关系曲线

变的增长速度远大于大应变下的,两者有明显的差异,说明在拉伸和剪切过程中的不同阶段,土体强度各组成部分发挥的作用不同,在拉伸过程中随拉应变的增大,土的抗拉强度比较均匀地发挥作用,直到破坏时全部发挥出来,极限拉应变很小,试验测得的极限拉应变均小于 0.25% (图 1).在剪切过程中随着土粒间的微小错动,凝聚力迅速发挥作用,以接近线性规律变化,摩擦强度随应变量的增大缓慢发挥,在较大的应变下全部发挥,土粒重新排列后,残余强度起作用[4].通过对单轴拉伸试验过程的观察发现,拉裂破坏具有突然性,破坏面垂直于加荷轴,沿主应力面发生,说明在单轴拉伸下非饱和黄土呈脆性破坏.试样从开始拉伸至破坏均无颈缩现象,其变形只沿加荷轴方向发生,无侧向变形.试样在拉伸过程中,体积随应变量的增大而增大,破坏时的体变量最大.由表 2 可知,试样的初始含水量越大,极限拉应变也就越大,当初始含水量由 17% 增加到 25% 时,极限拉应变由 0.12% 增加到 0.23%,约增大 1 倍,而且在高含水量下的增加率较低含水量下大,如含水量由 23% 增加到 25% 时,极限拉应变增加了 0.064%,含水量由 17% 增加到 19% 时,极限拉应变增加了 0.009%,前者为后者的 7 倍多.在初始含水量较小时,加固凝聚力和吸附强度均较大,试样表现出超固结特性,若承受的拉应力小于抗拉强度时,试样产生微小拉应变,当拉应力达到抗拉强度时,试样突然发生破坏,极限拉应变很小.

3 抗拉强度的变化规律

将表 2 所列抗拉强度与对应含水量点绘于直角坐标系中 (图 2),可以看出非饱和黄土的抗拉强度随初始含水量的增大连续减小,而且在低含水量下的减小幅度较高含水量下的减小幅度大,两者之间呈幂函数关系,与抗剪强度中凝聚力的变化规律相似,抗拉强度与初始含水量的关系:

$$\sigma_t = Aw^{-B}$$

式中: σ_t ——抗拉强度, kPa; w ——初始含水量, %; A, B ——随土类而变化的参数. 试验用土的 $A = 559073, B = 3.277$.

试样的拉裂破坏一般为脆性破坏,其抗拉强度可用拉应力下的应力、应变关系曲线的斜率反映,该斜率 E_t 定义为土的拉伸模量,表示土

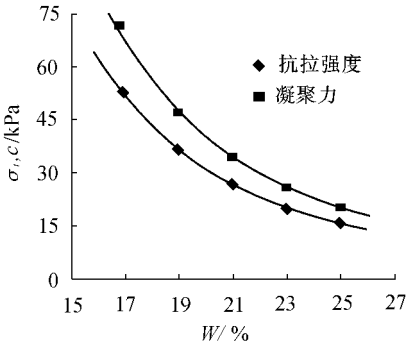


图 2 强度与含水量关系曲线

Fig.2 Relationship between strength and water content

在单轴拉伸条件下的极限拉应力与极限拉应变之比值,对试验结果分析可知,非饱和黄土的拉伸模量也随初始含水量的增大而减小,初始含水量为 25% 的试样的拉伸模量约为初始含水量为 17% 试样拉伸模量的 1/8. 为了研究抗拉强度随干密度的变化规律,制备了初始含水量为 19%,干密度分别为 1.38, 1.43,1.50 g/cm³的试样,通过试验测定得到,在相同初始含水量下,试样的干密度越大,抗拉强度越大,如表 2 示. 试验表明,拉伸速率对土的抗拉强度亦有影响,其影响规律有待进一步研究.

4 结 语

非饱和黄土在拉应力下的应力、应变关系曲线为应变硬化型,试样的拉裂破坏一般为脆性破坏. 矿物成分、密度和含水量是非饱和黄土抗拉强度的主要影响因素,对于同一种土,抗拉强度主要取决于初始含水量的大小,两者可用幂函数关系描述. 试样破坏时的极限拉应变随初始含水量的增大而变大.

参考文献：

[1] 黄文熙. 土的工程性质[M]. 北京 水利电力出版社,1983. 317 ~ 323.
[2] 党进谦,李靖. 含水量对非饱和黄土强度的影响[J]. 西北农业大学学报,1996,24(1) 57 ~ 60.
[3] 党进谦. 非饱和黄土的结构强度及其作用[J]. 西北农业大学学报,1998,26(5) 48 ~ 51.
[4] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 西安 陕西科学技术出版社,1997. 55.

Study on Tensile Strength of Unsaturated Loess

DANG Jin-qian, HAO Yue-qing, LI Jing

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech Univ. of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract : The tensile strength of unsaturated loess (TSUL) is analyzed, and the properties of the TSUL are studied. The results show that : the density and water content of loess are the major factors affecting the TSUL ; the destruction of unsaturated loess by tensile stress is generally brittle failure ; the relationship between the tensile strength and the initial water content is an exponential function ; and the limit tensile strain increases with the initial water content.

Key words : unsaturated loess ; tensile strength ; water content