

55-58

第25卷 第3期
1997年6月西北农业大学学报
Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalisVol. 25 No. 3
Jun. 1997

12

非饱和黄土水分特征曲线的研究

党进谦¹ 李靖¹ 王力²

(1 西北农业大学水利与建筑工程学院, 陕西杨陵 712100)

(2 西北电力设计院, 西安 710032)

摘要 采用压力板法测定了非饱和黄土的基质吸力。结果表明, 非饱和黄土的水分特征曲线可用幂函数关系描述; 吸着水含量与毛细管水含量随基质吸力的增大而减小; 基质吸力由吸着力和毛细管力形成。

关键词 非饱和黄土, 水分特征曲线, 基质吸力, 吸着力, 毛细管力

中图分类号 TU411.91

土的含水量与基质吸力间的关系在土壤学中研究较多, 且多着重于天然状态下表层土壤吸力的变化、土壤的持水特性及水分运动特征的研究, 吸力值一般小于 100 kPa^[1], 而土力学中主要研究深层土的吸力变化对土工程性质的影响, 吸力范围较大, 可达 1 500 kPa^[2]。目前有关非饱和土水分特征曲线的研究成果均反映了土的饱和度与基质吸力间的关系^[2~4]。而非饱和土中的水由吸着水和毛细管水组成^[1, 4~6], 这两部分水的数量关系是影响粘性土物理、力学性质的重要因素。本研究对陕西关中地区非饱和黄土进行了大量的测定和分析, 以探明非饱和黄土的吸着含水量与毛细管含水量随基质吸力变化的规律。

1 材料与方法

1.1 土样的基本物理性质

试验所用土样为陕西关中地区马兰黄土, 取自 10 个样点, 基本物理性质见文献[7]。

1.2 研究方法

用压力板法量测各土样脱湿过程的基质吸力。试验前, 用饱和器将试样饱和, 然后放入压力室内量测基质吸力, 试验后发现试样没有发生膨缩现象。基质吸力的量测从 0~1500 kPa, 分 8 个压力水平进行; 25, 50, 100, 300, 500, 700, 1 000, 1 500 kPa。用连续称重法计算含水量:

$$w_i = \left[\frac{m_i}{m_a} (1 + w_a) - 1 \right] \times 1000 \quad (1)$$

式中, w_i, m_i 分别为某一吸力水平下试样的含水量(g/kg)与质量(g); w_a, m_a 分别为最终吸力水平下试样的含水量(g/kg)与质量(g)。

2 结果与分析

2.1 非饱和黄土的水分特征曲线

由非饱和黄土的水分特征曲线测定结果(表 1)可知, 各土样的含水量随基质吸力的

收稿日期 1996-11-15

课题来源 水利部水利水电科学基金资助项目

作者简介 党进谦, 男, 1964 年生, 讲师, 硕士

逐渐增大而减小,且均与基质吸力呈幂函数关系(图 1)。

表 1 土样基质吸力与对应含水量

土样	基质吸力(MPa)							
	0.025	0.05	0.1	0.3	0.5	0.7	1	1.5
千阳	259.3	204.8	175.2	146.8	131.4	125.5	123.6	122.8
彬县	274.8	209.1	183.1	146.5	126.7	119.6	118.5	117.4
铜川	281.9	211.5	189.1	151.8	133.2	120.3	119.4	118.6
白水	257.8	209.5	185.4	160.1	141.5	136.2	135.7	134.1
合阳	254.1	209.4	179.5	153.5	127.9	124.0	123.5	122.6
岐山	261.0	210.3	188.5	156.2	139.4	138.2	126.5	124.2
宝鸡	252.6	213.1	182.5	152.2	140.8	133.4	132.7	131.9
咸阳	260.1	206.7	182.4	153.1	135.6	130.8	129.5	128.8
渭南	253.6	212.8	193.2	168.8	152.1	146.6	144.8	143.2
潼关	249.4	216.8	200.6	178.2	164.5	158.3	157.5	155.7

由图 1 可见,陕西关中地区非饱和黄土的水分特征曲线具有下列特征:①随非饱和黄土含水量的增大,基质吸力连续减小,非饱和黄土的工程性质向弱性变化;②在高含水量下,基质吸力随含水量的变化幅度很小;在低含水量(天然含水量)下,基质吸力随含水量的增大而迅速减小。由此可见,在天然含水量下非饱和黄土的工程性质受含水量的影响很大;③各土样的水分特征曲线开始段很陡且几乎相互重合,后半段平缓且基本接近平行。

由此可知,对某一类土而言,在低吸力下,

土基质吸力的大小主要随含水量而变化;在高吸力下,土基质吸力的大小除主要取决于其含水量外,其他因素(如粘粒含量、干密度等)对基质吸力也有一定影响。

2.2 水分特征曲线的函数关系

由于非饱和土中水两个组成部分的含量均随基质吸力发生变化,从而引起土工程性质的明显差异^[2,5]。为了反映非饱和黄土中吸着水和毛细管水随基质吸力的变化规律,本文拟合含水量与基质吸力之间相关关系的数学模式为:

$$w = aS^{-b} + cS^{-d} \quad (2)$$

式中, w 为含水量, g/kg; S 为基质吸力, MPa; a, b, c, d 为随取土点而变化的统计参数。

用 SYSTAT 统计绘图软件包对表 1 所示土样拟合(2)式,结果见表 2。由拟合显著性 F 检验知,数学模式(2)的拟合极显著。

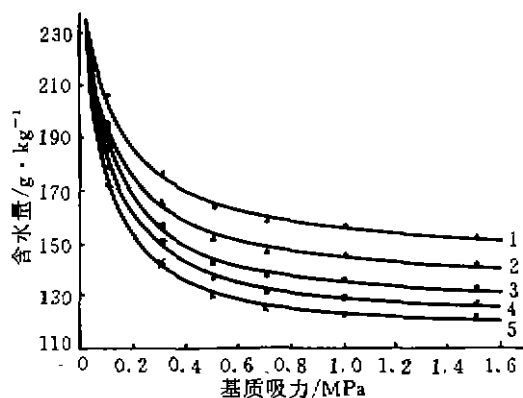


图 1 部分土样的水分特征曲线

1. 潼关; 2. 渭南; 3. 白水; 4. 咸阳; 5. 千阳

表2 $w=aS^{-b}+cS^{-d}$ 模式拟合参数

土样	a	b	c	d	r
千阳	113.47	0.034	10.86	0.673	0.994
彬县	104.95	0.044	14.20	0.638	0.993
铜川	105.01	0.047	16.30	0.608	0.989
白水	121.64	0.025	14.18	0.586	0.992
合阳	106.03	0.049	17.40	0.539	0.991
岐山	106.28	0.047	21.34	0.495	0.993
宝鸡	118.57	0.035	14.04	0.579	0.997
咸阳	117.39	0.028	19.76	0.628	0.995
渭南	130.71	0.033	14.61	0.534	0.991
潼关	142.43	0.029	15.16	0.483	0.992

式(2)中 aS^{-b} 项反映了非饱和黄土中吸着水含量随基质吸力的变化规律, 参数 a, b 与土的颗粒组成及塑性指数有关。吸着水是受土粒电分子引力作用吸附于土粒表面的土中水, 所受电分子引力的大小与离开土粒表面距离的平方成反比, 因此吸着水含量的微小变化可引起基质吸力的较大变化。如表1所示, 在高吸力下, 当含水量相差仅 $0.7 \sim 2.3 \text{ g/kg}$, 基质吸力相差50%左右。式(2)中 cS^{-d} 项反映了毛细管水含量随基质吸力的变化规律, 参数 c, d 主要取决于土的孔隙比、孔隙空间的几何形状或干密度。毛细管水存在于土的孔隙中, 受水与空气交界面处表面张力的作用, 表面张力一般小于 $0.65 \text{ MPa}^{[1]}$ 。在低吸力下, 基质吸力的较小变化可引起毛细管水含量的较大变化。

咸阳、合阳两土样的吸着水与毛细管水含量随基质吸力的变化规律(图2)表明, 在高吸力下, 基质吸力以吸着力为主, 毛细管水含量很小, 土中水主要为吸着水, 吸着水随基质吸力的变化幅度很小; 在低吸力下, 基质吸力主要由毛细管力形成, 毛细管水含量在土总水量中所占的比例随基质吸力的减小急剧增大。这与毛细作用和吸着作用的持水机理相一致。

3 结 论

1) 非饱和黄土水分特征曲线的函数关系可表示为 $w=aS^{-b}+cS^{-d}$, 吸着水含量与毛细管水含量随基质吸力的变化规律可分别用该式右边的两项描述。

2) 陕西关中地区非饱和黄土基质吸力的大小主要取决于其含水量。在高吸力下, 土中水以吸着水为主; 在低吸力下, 毛细管水占土中水的比例随基质吸力的减小而急剧增大。

3) 文中研究成果只适用于脱湿过程, 吸湿过程的水分特征曲线有待进一步研究。

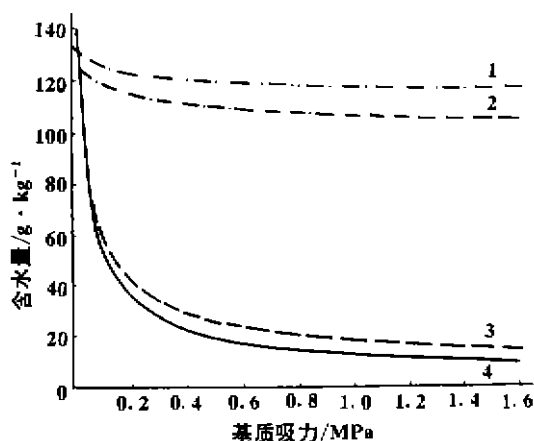


图2 吸着作用、毛细管作用变化规律

1. 吸着作用(咸阳); 2. 吸着作用(合阳);
3. 毛细管作用(合阳); 4. 毛细管作用(咸阳)

参 考 文 献

- 1 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学.北京:清华大学出版社,1988
- 2 李 靖,刘祖典.非饱和黄土中的负孔隙压力与其物理性质指标间的关系.见:章连洋,查金星编:中国土木工程学会第六届土力学及其基础工程学术会议论文集.上海:同济大学出版社,1991,193~196
- 3 陈正汉.非饱和土的水气运动规律及其工程性质研究.岩土工程学报,1993,15(3):9~20
- 4 王 力.陕西关中地区马兰黄土基质吸力分布的空间变异性[硕士研究生论文].陕西杨陵:西北农业大学水利与建筑学院,1994
- 5 黄文熙.土的工程性质.北京:水利电力出版社,1983
- 6 Lee I K, White W, Ingles O G(澳);俞调梅,叶书麟译.岩土工程.北京:中国建筑工业出版社,1986
- 7 党进谦,李 靖.含水量对非饱和黄土强度的影响.西北农业大学学报,1996,24(1):57~60

Feature Curve of Moisture Content in Unsaturated Loess

Dang Jinqian¹ Li Jing¹ Wang Li²

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

(2 Northwestern Institute of Electric Power Designing, Xi'an, Shaanxi 710032)

Abstract The matrix suction of unsaturated loess was measured with the method of pressure board. The result indicated that the feature curves of moisture content in unsaturated loess could be described with power function relation. The water content of attraction and capillary decreased with the increase of the matrix suction, which consisted of attraction and capillary powers.

Key words unsaturated loess, feature curve of moisture content, matrix suction, attraction power, capillary power