

土壤胀缩研究的现状与展望

杜长江^{1,2}, 杨 忠¹, 熊东红¹, 周红艺¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 土壤胀缩是土壤在干燥、湿润交替变化过程中所表现出的土壤容积随含水量改变的关系。就土壤容积变化的表示方法、土壤干裂特征、变性土土壤水运动机理, 土壤的收缩特征曲线和影响土壤收缩的相关因素五个方面进行了总结和回顾, 同时, 就以后的研究工作提出了展望。

关键词: 土壤胀缩; 变化特征; 相关因素

中图分类号: S 152

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)01-0269-02

Facts and Envisage of Soil Swelling- Shrinkage

DU Chang-jiang^{1,2}, YANG Zhong¹, XIONG Dong-hong¹, ZHOU Hong-yi¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Soil swelling- shrinkage is related to change in soil volume with water content in the process of soil drying and wetting. The review is summarized in some aspects, such as expression methods of soil volume change, characteristic of soil crack, water move mechanics in expansive soil, models of soil shrinkage characteristics curve and related factors affecting soil swelling- shrinkage. Meanwhile, prospect is noted for future research work.

Key words: soil swelling- shrinkage; characteristics of change; related factors

水土流失问题是当今世界环境所面临的严峻问题, 同时也是中国生态环境建设的重要组成部分。土壤胀缩导致土体结构破坏, 是水土流失的重要原因。随着国内外对环境保护问题研究的日益重视, 土壤胀缩的研究已成为区域土壤水分研究的重要方向。国内外关于干旱半干旱地区变性土的研究较多, 包括胀缩特征描述、胀缩土壤特征、胀缩机理研究方法等, 下面本文就土壤收缩在国内外研究现状做以总结。

1 国内外研究进展

1.1 土壤容积变化的表示方法

土壤容积变化的研究常使用四个类型的坐标: 孔隙度、容积变化、容重、比容积与含水量的关系来表达^[1]。比容积-容重的倒数是表示土壤容积变化的常用的方法。通常比容积-重量含水量的关系称之为收缩特征曲线。比容积的应用使得土壤容积的变化具有特定的物理意义, 贯穿了整个含水量范围, 这正是它的优势所在。Parker, Amos 和 Kaster^[2]以线性延展系数计算自然结构土块的容积变化为标准评价了估计土壤容积变化的方法, 发现黏粒类型比黏粒含量更重要, 弹性指标与土壤潜在的容积变化密切相关。在预测田间土壤的容积变化时, 线性延展系数与可能容积变化被广泛应用。

1.2 土壤胀缩变化特征

1.2.1 外部特征

膨胀和收缩是变性土特有的性质。当变性土在旱季开裂时, 偶遇足够的雨水, 会迅速膨胀。因此, 在下雨时, 变性土的裂隙很快闭合, 土壤的渗透能力骤降, 雨水基本上通过地面

径流排出, 水分利用率明显下降^[3]。中国科学院成都山地灾害与环境研究所何毓蓉等研究查明干热河谷土壤具有明显的变形特征, 土壤黏粒含量高, 膨胀收缩性强, 旱季土壤干裂明显, 裂缝宽度常常大于 1 cm, 可深达土层 1 m 以上, 并且结合四川土壤基层分类, 选取四川紫色锥形土的几个土系, 对土壤的水分蒸发性能及其与土壤结构性尤其是机械组成和微团聚体组成的相关关系分析, 查明土壤水分蒸发具有明显的阶段性; Chertkov 和 Ravina 提出了一个物理基本概率模型- 复合破裂和分裂模型- 预测了膨胀黏土的裂隙网状系统^[4]。Cabidoche 和 Ruya 运用了 Voltz 模型- 比体积与土层厚度和含水量相关- 在棱柱体上研究了膨胀黏土的田间收缩机制^[5]。Blokhuys 曾经指出, 剖面构型是变性土形态学中最引人注目的地方, 变性土的剖面构型随剖面深度而逐渐变化, 但层次性的变化却很微弱^[6]。同时, 裂隙的存在是变性土的一个重要诊断特征。

1.2.2 土壤微型态特征

南京农业大学仇容亮等研究了中国西南地区变性土的膨胀特性, 形态学证据及其影响因素^[7]。膨胀收缩的微型态证据: 土壤孔隙与微结构体, 碳酸盐和铁锰形成物, 细粒物质析物及其垒结, 土壤胶结形式与微结构状况^[7]。国际上对变性土的定性, 年开裂累积时期也作为一个重要诊断指标。

1.2.3 水分物理特征

江苏省农科院黄东迈等就低洼地区变性土的水分物理特征进行了研究, 系统的揭示了变性土的土壤特征。对于变性土的一维水流运动, 水分和土体的分析都是以物质能量平衡方程和达西

① 收稿日期: 2005-03-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(30470297)资助

作者简介: 杜长江(1977-), 男, 在读硕士, 主要从事山区土壤侵蚀与环境修复、山区发展等方面的研究工作。

定律为基础的, Smile 提出了变性土的物质能量平衡方程。

1.3 土壤胀缩特征曲线

中科院地理所邵明安等就土壤收缩的特征曲线进行了研究分析了 5 种土壤的收缩特征曲线- 比容和重量含水量的关系, 并将其收缩过程分为滞留、正常、结构 3 个阶段。同时对收缩特征指标和土壤物理性质之间的相关关系进行了分析^[8]。E. E. Alonson 等就变性土在剧烈的干湿变化条件下的变形过程进行了模拟^[9]。国外学者对与土壤含水量变化有关的容重变化进行了大量的研究, 并提出了土壤收缩特征曲线模型, 以便采用同一类型坐标进行比较, 模型包括三直线模型, Logistic 模型, 土壤容重变化的通用方程, KM 模型, 其中三直线模型能够很好的拟合实测数据和从黏粒含量预测基本收缩线的可能性。

1.4 影响土壤胀缩的相关因素

影响土壤胀缩的因素包括土壤含水量, 土壤的粒径分配, 土壤黏粒含量, 变性土的孔性, 土壤的化学组成, 剧烈的干湿变化六个方面。就土壤含水量而言, 杜彦军等对宁连高速的变性土的测定结果表明: 土壤的物质组成和结构, 干密度, 及其含水量是造成土壤胀缩的主要因素, 而含水量是主要因子^[10]; 就土壤的粒径分配而言, 从土壤的质地状况来讲, 世界上一些持水量高的变性土, 其黏粒含量一般都在 40% - 60%, 最高的可达 80%^[11]; 就土壤黏粒含量而言, 南京农业大学仇容亮等在对中国西南变性土的研究中查明, 黏粒含量, 尤其是细黏粒含量与膨胀收缩明显相关^[12]。土壤容重随含水量改变而改变, 这与土壤的基本物理特性有关, 其中黏粒含量是一个重要的因素^[13, 14]。C. Di Maio 等对土壤体积改变的影响因素进行了研究, 并指出矿物组成, 液态孔隙数量, 压力是土壤体积改变的三个主要因素, 其中矿物组成是关键因素^[15]; 就变性土的孔性而言, 杜彦军等对宁连高速的变性土的测定结果表明: 变性土表层土壤, 无效孔隙所占的比重较大, 这部分孔隙被迟效水和无效占有, 影响土壤的通透性和有效水含量^[3]; 就土壤的化学组成而言, Guido Musso 等指出土壤的化学组成在变性土的胀缩过程中起到重要的作用。变性土的变形来源于盐化还是非盐化, 不同的盐化程度产生不同的变形程度^[16]; 就剧烈的干湿变化而言, 在国外, 许多学者对变性土的相关方面也进行了大量的研究。S. M. Rao 等就干湿变化对 7 种土壤的膨胀收缩影响进行参考文献:

- [1] McGarry D, malafant K W J. A Analysis of volume change in unconfined unite of soil[J]. Soil Science Soc. AM. J., 1987, 51: 290- 297.
- [2] Parker J C, D F Amas, D L Kaster. An evaluation of several methods of estimating soil volume change[J]. Soil Sci. Soc. AM. J., 1977, 41: 1059- 1063.
- [3] 黄东迈, 朱培立, 等. 江苏省低洼地区变性土的水分物理特征[J]. 江苏农业科学, 1997, 13(1): 44- 50.
- [4] Chertkov V Y, I Ravina. Modeling the Crack network of swelling clay soils[J]. Soil Sci. Soc. AM. J., 1998, 62: 1162- 1171.
- [5] Cabidoche K M, S Ruya. Field shrinkage curve of a swelling clay soil: analysis multiple structural swelling and shrinkage phases in the prisms of a Vertisol[J]. Aust. J. Soil. Res., 2001, 29: 143- 160.
- [6] Blokkhuis W A. Morphology and genes is of vertisols[A]. Trans. of 12th Intern. Cong. of Soil Sci Symposium[C]. New Delhi, 1982. 23- 47.
- [7] 仇荣亮, 等. 变性土的膨胀收缩特点及影响因素[J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(1): 71- 77.
- [8] 邵明安, 吕殿青. 土壤收缩特征曲线的实验研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 471- 474.
- [9] E E Alonso, J Vaunat, A. Gens. Modelling the mechanical behaviour of expansive clays[J]. Engineering Geology, 1999, 54: 173- 183.
- [10] Yanjun Du, Shenglin Li, Shigenori Hayashi. Swelling- shrinkage properties and soil improment of compacted expansive soil, Ni - Liang highway, China[J]. Engineering Geology, 1999, 53: 351- 358.

行了研究, 得出了石灰对于压缩的 AMS 样品和石灰处理的 BCS(black cotton soil) 样品的膨润特性有显著的控制作用, AMS(ash modified soil) 样品在经历了剧烈的干湿变化后, 土体结构遭到严重的破坏, 由于干密度和含水量的降低导致 AMS 样品的膨胀特性显著的降低^[17]。

2 研究展望

土壤胀缩有其时间变化规律和空间变异性, 目前已经进行了大量土壤胀缩研究。国内外关于土壤容重变化的表示方法、土壤干裂特征、变性土土壤水运动机理, 土壤的收缩特征曲线和影响土壤收缩的相关因素等方面研究较多, 但仍然有很多的不足:

(1) 关于变性土的改良研究将成为研究热点。例如, 关于变性土的改良方法, 改良效果及其应用, 耕作和水旱轮作中的干湿交替随变性土的性质将会发生何种影响, 变性土最适合的耕作- 轮作体系应如何建立等, 都值得深入的探讨和总结。

(2) 变性土的理论研究在实践中的应用将引起人们的关注。土壤在干湿变化的过程中, 不仅水量在变化, 而且容重也在变化, 从而影响了容重和含水量的关系和土壤机械特性, 同时从土壤干湿变化可以预测田间地表收缩与膨胀, 计算含水量剖面 and 制定灌溉计划, 这将使得人们从适用于这一需要的灌水制度中受益, 也将从土壤结构的改善中受益。

(3) 由于人们的环境保护意识日益增强, 土壤胀缩对于环境的影响将会成为研究的重点领域。随着全球气候的变暖和连续的干旱, 农业土壤由于缺少水分而收缩, 产生表面下陷和裂隙, 严重影响土壤结构和质量, 同时水分和可溶解的肥料也可通过收缩裂隙优先运移到下层土壤和地下水中, 导致土体结构的破坏和土壤质量的下降, 导致干旱和水分和养分的流失, 甚至引起地下水的污染。

(4) 将土壤收缩特征与土壤水力特征相互融合来研究土壤水分运动将是今后一个重要的方向。实际土壤在干湿变化的过程中, 不仅水量在变化, 而且容重也在变化, 那么土壤水分运动参数就是容重和含水量两者的函数, 土壤水分方程不再遵循 Richards 方程。但目前仅考虑含水量变化或者土壤收缩特性, 未参入土壤水力特性。因此, 将土壤收缩特征与土壤水力特征相互融合来研究土壤水分运动, 为更高效的利用水分和防止地下污染提供更可靠的科学依。

满足设计要求。

3.6.3 抗倾覆稳定性验算

为保证加筋土挡墙抗倾覆稳定性, 须检算它抵抗墙身绕墙趾向外转动倾覆的能力, 用抗倾覆稳定系数 K_o 表示, 即对于墙趾总的稳定力矩 $\sum M_y$ 与总的倾覆力矩 $\sum M_o$ 之比:

$$K_o = \frac{\sum M_y}{\sum M_o} = \frac{399 \times 3.5 + 22.618 \times 7 + 58.188 \times 3.934}{73.50 \times 3.5 + 32.302 \times 1.412} = 5.92 > 1.5$$

满足设计要求。

3.6.4 地基应力验算

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_y - \sum M_o}{\sum N} = -0.148$$

$$\sigma_{max/min} = \frac{\sum N}{L} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) = \begin{cases} 78.84 \text{ kPa} & [\sigma] = 120 \text{ Pa} \\ 50.6 \text{ kPa} & > 0 \end{cases}$$

满足设计要求。

4 设计中注意的问题

由于本工程的特殊性和复杂性, 在设计上特别注意了以下问题:

(1) 面板设计。加筋土面板是为阻止填料倒塌而设置, 本工程采用十字型面板, 混凝土强度等级 C20, 板厚取 20 cm, 按最小配筋率 $\mu_{min} = 0.2\%$ 配筋, 既满足受力要求, 同时又考

参考文献:

- [1] 交通部第二公路勘察设计院. 公路设计手册——路基[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.
- [2] 何光春. 加筋土工程设计与施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 李海光, 等. 新型支挡工程设计与工程实例[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [4] JTJ 015-91, 公路加筋土工程设计规范[S].
- [5] 周志刚, 郑健龙. 公路土工合成材料设计原理及工程应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [6] 郑先昌, 王力忠. 加筋土挡墙在填方高边坡中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2001, (5): 66-68.

(上接第 250 页)

- [4] Bjoen Klove. Erosion and sediment delivery from peat mines[J]. Soil & Tillage Research, 1998, 45: 199-216.
- [5] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11.
- [6] F B S Kaihura, I K Kullaya, M Kilasara, et al. Soil quality effects of accelerated erosion and management systems in three eco-regions of Tanzania[J]. Soil & Tillage Research, 1999, 53: 59-70.
- [7] R K Misra, P C Teixeira. The sensitivity of erosion and erodibility of forest soils to structure and strength[J]. Soil & Tillage Research, 2001, 59: 81-93.
- [8] 王礼先, 等. 水土保持学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.

(上接第 270 页)

- [11] Virmanism S M, K L Sahraw at, J R Burford. Physical and Chemical Properties of Vertisols and their Management [A]. Trans. of 12th. Intern. Cong. of Soil Sci Symposium [C]. New Delhi, 1982. 80-92.
- [12] McCormack D E, Wilding L P. Soil Properties influencing swelling on Canfield and Geeberg soils[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1974, 39: 496-500.
- [13] Crescimanno G, Provenzano G. Soil shrinkage characteristic curve in clay soils: Measurement and prediction[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1999, 63: 25-32.
- [14] Parker J C, Amos D L. An evaluation methods of several methods of estimating soil volume change [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1977, 41: 1060-1064.
- [15] C Di Maio, L Santoli, Pschavone. volume change behaviour of clays: the influence of mineral composition, pore fluid composition and stress state[J]. Mechanics of Materials, 2004, 36: 435-451.
- [16] Guido Musso. The role of structure in the cha emically induced deformations of febex bentonite[J]. Applied Clay Science, 2003, 23: 229-237.
- [17] S M Rao. The impact of cyclic wetting and drying on the swelling behaviour of stabilized expansive soils [J]. Engineering Geology, 2001, 60: 223-233.

虑发生裂缝和水的冲刷。

(2) 填料选择对于位于河岸上的加筋土工程, 必须保证水稳定性好, 一般宜采用砂砾填料。同时应在墙面板后做好反滤设施。当墙前水陡降时, 迅速排除加筋体中和加筋体后方的水, 使墙内墙外的水位差不超过容许值, 不形成过大的剩余水压力, 同时加筋体的填料不被带出, 使墙顶产生塌陷或其他变形。

(3) 为了尽量减少面板对地基产生的压力, 确保面板不被破坏, 在墙面板下设置厚 100 cm、宽 100 cm 的 C20 混凝土基础。

5 加筋土挡墙和悬臂式挡墙的比较

此工程还有一个悬臂式挡墙方案, 但其在浸水地区的稳定性(自身稳定、整体稳定)较差, 而且断面尺寸小, 施工难度大。加筋土挡墙为柔性结构, 主要依靠填料与拉筋之间的摩擦力来平衡墙面所受的水平土压力, 较能适应地基的变形和差异沉降, 对地基承载力要求低, 特别在软地基上, 其安全稳定性比悬臂式挡墙等其他刚性结构高, 且造价低廉, 造价节省 20% 左右, 技术经济优势明显。

此外, 加筋土挡墙虽然设计简单, 但对施工的管理要求较高, 每一道工序和细部构造都可能关系到整个工程的安全与质量, 必须严格按照设计要求和技术规范施工。