

# 土的比电导在排水蠕变中的变化

程昌炳 徐昌伟

## Conductivity Change of Soil under Creep for Opening System

Cheng Changbing Xu Changwei

### Abstract

Conductivity of soil examples under their creep for opening system is determined with physico chemical experiments. The result shows that conductivity changes along with the soil creep. This demonstrates that not only soil structure changes under creep, but also its physico chemical behavior changes correspondingly.

### 提 要

笔者从物理化学的手段出发,测试了土样在开放体系中蠕变时的比电导变化,初步获得了它随蠕变的发展而变化的特性。进而告诉人们,土在蠕变中其结构发生变化,也会反映在其相应的物理化学特性上。

对土的蠕变特性的研究,已成为土力学研究中的重要内容。我国著名学者陈宗基教授,对此做出了重大的贡献。他首先提出了三维的粘土结构模型<sup>[1]</sup>,并用土的网状结构的变化来解释土的流变特性,阐述了第二屈服值 $f_2$ 和第三屈服值 $f_3$ 的物理意义,及其与网状结构变化的关系,为蠕变机理的微观解释奠定了基础。学者们普遍认为,所谓土蠕变,即它在应力固定的情况下,其变形随时间而增长,是由于组成土的那些结构单元在联结上发生了变化所致<sup>[2]</sup>。米捷尔(Mitchell, J. K.)等丰富了这一个解释,他们认为蠕变是一个热的活化过程,即结构单元在外力作用下,作热运动而克服能垒所致<sup>[3]</sup>。普许(Pusch, R.)还根据上面的假设,对封闭体系的蠕变提出了一种数学模拟<sup>[4]</sup>。

学者们虽然对土的蠕变机理提出了上述的解释,但他们的实验手段还都是局限于力学范畴。笔者认为,土的结构发生变化,必然要反映在它们的物理化学特性的变化上。如果开展对土的蠕变过程中的物理化学特性的测试和研究,将会丰富我们对土蠕变研究的内容,并加深对其机理的认识。为此,我们测试了土在开放体系(即排水)中蠕变时的比电导数值,初步揭示了比电导在土蠕变的过程中发生变化的特性。本文仅就此作一介绍。

## 一、实验方法

先将市售高岭土，用  $1N$  的  $NaCl$  溶液反复浸泡、淋洗后制成钠质高岭土，以避免不同种类阳离子的影响。再将其孔隙液调至某一当量浓度，如  $1 \times 10^{-2}N$ ，以避免孔隙液浓度不同的影响。然后在总压力为  $0.05$  公斤/平方厘米下固结成型。再用面积为  $20$  厘米<sup>2</sup>、高  $2$  厘米的环刀切取两个样品，即样 I 和样 II，分别装入特制的固结仪中（在文献[5]中它被称为流动电位槽）经土工实验测定此时土样的物性指标为：含水量  $148.1\%$ ，孔隙比  $3.819$ ，干土重  $36.26$  克（制样的详细过程见文献[5]）。

本固结仪系用绝缘材料制成，其中有两片铂网电极，紧贴在土的上、下两端面上，然后按标准固结方式，将样品 I 和样品 II 分别固结至  $0.5$  公斤/平方厘米， $1$  公斤/平方厘米先经一天时间的主固结后，并记下沉降量的值，量样 I 的  $S_{主1} = 0.7838$  厘米，样 II 的  $S_{主2} = 0.9648$  厘米。然后开始蠕变实验的有关参数的测定，即每天用百分表测一次沉降量  $S_{次}$  和用电导仪测电阻  $R$ ，见示意图 1。

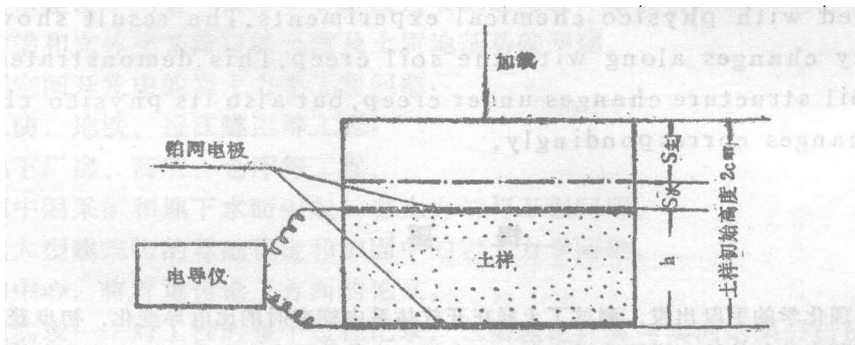


图 1 测定土在蠕变中的比电导的示意图

在蠕变过程中的某一时刻  $t$ ，如果土样的高度为  $h$ 、电阻为  $R$ 、横截面积为  $A$ ，则根据物理学的定义，此时土的比电导

$$K_b = \frac{h}{AR} \quad (1)$$

根据我们的测量系统，式 (1) 可变为

$$K_b = \frac{h}{AR} = \frac{2 - S_{主} - S_{次}}{20 R} \quad (2)$$

$S_{主}$  前面已给出，所以只要将不同时刻的  $S_{次}$ 、 $R$  值代入式 (2)，便可计算出  $K_b$ 。

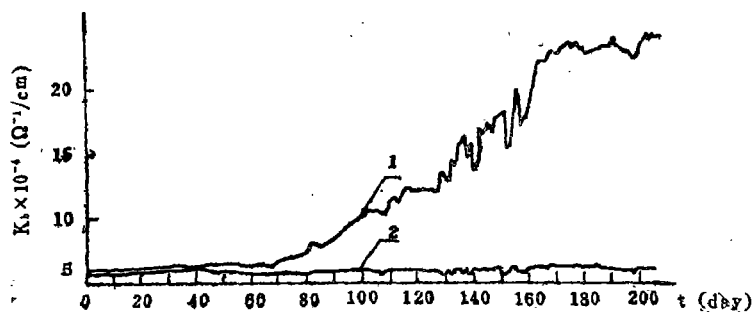
实验是在恒温 ( $17.2 \pm 1$  摄氏度)、湿度接近  $100\%$  下进行的，目的在于消除温度变化和水份挥发的影响。

## 二、实验结果

将每天测量所得的沉降量  $S_{次}$  和电阻  $R$  代入式 (2) 中，计算出相应的比电导  $K_b$  值。分

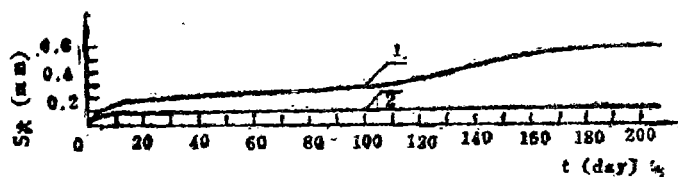
别绘出比电导 $K_b$ 与时间 $t$ 、沉降量 $S_{次}$ 与时间 $t$ 的关系曲线如图2,3。从图2可见,在土的蠕变过程中,比电导 $K_b$ 有上升的趋势,其幅度与垂直荷载的大小有关。在本实验范围内,当垂直荷载为0.5公斤/平方厘米时,其上升幅度十分明显,如曲线1;当垂直荷载为1公斤/平方厘米时,曲线略有上升趋势其值非常小。图3为土样分别在0.5公斤/平方厘米、1公斤/平方厘米垂直荷载作用下,蠕变所产生的沉降量与时间的关系。它表明,样品I(曲线1)在蠕变过程中沉降量 $S_{次}$ 较样品II大。

对照图2和图3,可以清楚地看出,比电导 $K_b$ 、沉降量 $S_{次}$ 与时间的关系有较好的一致性,沉降量 $S_{次}$ 变化幅度大的,比电导的变化幅度也大。



1——垂直荷载为0.5kg/cm<sup>2</sup>      2——垂直荷载为1kg/cm<sup>2</sup>

图2 在土样蠕变中比电导 $K_b$ 与时间 $t$ 的关系



1——垂直荷载为0.5kg/cm<sup>2</sup>      2——垂直荷载为1kg/cm<sup>2</sup>

图3 在土样蠕变中沉降量 $S_{次}$ 与时间 $t$ 的关系

### 三、讨 论

在本实验条件下,土样的比电导 $K_b$ 在蠕变中随着时间的增长而增加,是一个十分值得研究的问题。为此,我们作如下的探讨。

从式(2)得知,如果土样的高度 $h$ ( $=2-S_{主}-S_{次}$ )增加, $K_b$ 当然增加,但在蠕变过程中, $h$ 是不会增加的。从图3中的曲线也可以看出,因在蠕变中其沉降量 $S_{次}$ 是逐渐增大的。所以在蠕变中土样的高度是逐渐减少,这不但不会增加比电导 $K_b$ 的值,而且反而会降低它的值。由式(2)还可得知,如果土样的电阻 $R$ 减小,就会使 $K_b$ 增加。从我们的测量数据来看,事实正是如此。在开始蠕变时(即第“0”天),样品I的电阻为104欧,第205天降至24欧。样品II的电阻由起始时的91.7欧,经204天后降至82.6欧,所以可以认为开放体系的土蠕变时,比电导的增加是由样品本身的电阻的减小所致。

那末,这又是如何造成的呢?笔者认为有如下的原因。

其一是由于排水(排出孔隙液)所致,因为对于某一个土样来说,除含有一定的干土

外,还含有一定的孔隙液,仅管溶液的比电阻一定,但土样的总电阻显然是与溶液的总量多少有关的,含量越多,总电阻也越大,反之亦然。因为土在开放体系中蠕变总是伴随一个极缓慢的地水过程,所以土样的总电阻也会缓慢地有所降低。但土样在蠕变时排出的水量非常有限,故对土样的总电阻的影响也不大。

其二是由于表面电导增加所致。干土是不导电的,但它与电解质溶液接触,就在它的表面上吸附反号离子形成双电层,这些在双电层内的离子对电导也有贡献,形成表面电导。利用本实验的有关数据,按下式计算土样表面电导 $K_s$ 值

$$K_s = \left( \frac{h}{SR} \cdot \frac{1}{\alpha} - K \right) \cdot \sqrt{\frac{Se}{\pi(1+e)}} \quad (3)$$

式中 $K_s$ 、 $h$ 、 $S$ 、 $R$ 、 $e$ 分别为土样的表面电导、高、横截面积、电阻、孔隙比, $\alpha$ 为与 $e$ 相应的传导系数(其物理意义详见文献[5]), $K$ 为土样中孔隙液的比电导。

为简便起见,我们的计算仅对样I约每隔10天取一个 $K_s$ 值,绘成 $K_s-t$ 曲线,如图4。从图4可见,土样在蠕变时它的表面电导 $K_s$ ,在本实验的条件下,是随着时间 $t$ 而增长的。对照图2中的曲线1和图4还发现,它们的变化形式也基本相同。由式(1)和式(3)知土样的表面电导 $K_s$ ,对其比电导 $K_b$ 是有贡献的,而且呈正相关,即与土样的电阻 $R$ 呈负相关,因此可以认为,在我们的实验条件下,土样蠕变所引起的电阻下降,主要是表面电导增加所致。

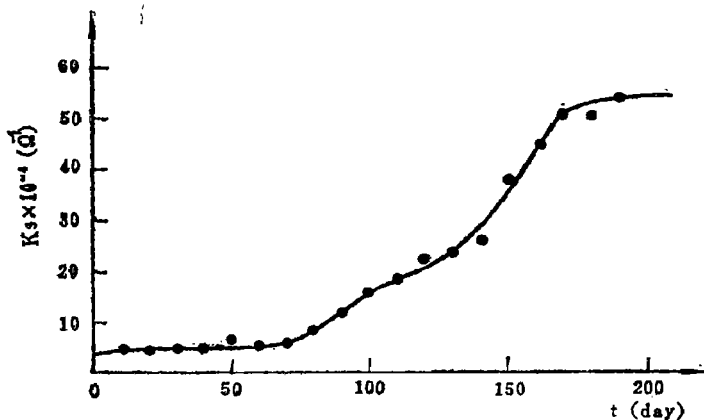


图4 土样在蠕变下表面电导 $K_s$ 与时间 $t$ 的关系

那末,开放体系的土样蠕变为何又引起它的表面电导的增加呢?正如前述,前人已认为土在蠕变中其结构单元在连接上会发生变化,所以我们认为表面电导的变化也是由于其结构单元连接发生变化所致。从本文的具体情况来看,并可认为它是朝着有利于导电的方向发展的。当然它们到底是一种什么样的物理图象,与其力学特性又有何关系?还有待进一步研究。不过可以确信,一旦这种物理图象被揭示,那对建立蠕变的力学模型将起到指导作用,

\* 本公式的推导和应用方法详见程昌炳、徐昌伟,非悬浮状态下土的表面电导的测定(待发表),1983.7.

可避免人们硬性地采用弹簧、粘壶的各种配合来建立模型的主观性。当然要揭示这种物理图象必须从物理化学的角度深入开展研究。

#### 四、结 论

1. 土样蠕变时,不但沉降量发生变化,而且其相应的物理化学特性,如比电导也变化,它们有一定的对应关系。

2. 对同一种样品,当采用不同的垂直压力来作蠕变实验时,比电导的变化幅度不同,有的变化甚微,有的非常明显。

3. 对开放体系中的蠕变,引起比电导变化的原因是土样电阻的变化。而电阻的变化主要是土样的结构在蠕变过程中发生了变化而引起的表面电导发生的变化所致。当然,孔隙液减少也起着作用。

#### 参 考 文 献

- [1] Tan Tjongkie, Structure Mechanics of Clay, Scientia Sinica, No 8, 1959.
- [2] B.A.弗洛林著,徐志英译,土力学原理,第2卷,第8章,中国建筑工业出版社,1973年。
- [3] Mitchell, J.K., Campanella, R.G. and Singh, A., Soil Creep as a Rate Process, J. of the Soil Mech. and Foundation Div. 1968, SMI 234.
- [4] Pusch, R., A physical Clay Creep Model and Its Mathematical Analogy, Pro. of 3rd Inter. Confe. on Numerical Methods in Geomechanics, 1979. 4.
- [5] 陈守义、程昌炳、徐昌伟,用流动电位法测粘土的 $\zeta$ 电位,岩土工程学报,第4卷,第2期,1982年。