

文章编号:1001-1986(2005)04-0063-02

黄土的多级湿陷性研究

卢玉东,孙建中 (长安大学环工学院,陕西 西安 710054)

摘要:在野外现场渗水试验和室内实验的基础上,探讨了黄土湿陷性与湿度的关系,提出了黄土广义湿陷系数和潜在湿陷系数等新概念,定量分析了这些参数与湿度的关系。据此,作者认为黄土可以不是一次完成浸水湿陷,具多级湿陷特性。

关键词:黄土;多级湿陷;湿陷系数

中图分类号:P642.13 **文献标识码:**A

Discussion on multilevel collapsibility of loess

LU Yu-dong, SUN Jian-zhong (Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstracts:The relationship between loess collapsibility and humidity is studied by field spot tests and experiments. New concepts, such as extend collapse coefficient and potential collapse coefficient, are put forward. More over, quantitative analysis on relationship between these parameters and humidity is done. Here by, the authors conclude that loess collapsibility has character of multi-level.

Key words: loess; multilevel collapsibility; extend collapse coefficient

1 引言

湿陷性黄土在区域上是不均一介质,湿陷性指标各不相同。力和水先后次序及湿度变化对黄土的湿陷特性具有重大影响^[1]。但因浸水发生了湿陷的黄土是否还具有湿陷性,湿陷性与湿度的关系如何,作者已做了初步探讨^[2],本文拟在野外现场试验和室内实验的基础上做进一步研究。

2 自重湿陷性黄土的野外渗水试验

笔者在已灌溉过的黄土上布置了一个试验点,地点位于兰州以东、榆中县之北约 20 km 的金崖乡金崖村,地理座标为东经 104°5',北纬 30°1'。该点金崖村位于黄河支流宛川河右岸的三级阶地上,这一阶地高出河面约 60~70 m,下部有冲积砂砾石层与层理明显的次生黄土,各厚约 10 m;上部为质地均一的风成黄土,厚度为 30~50 m。

试坑为 10 m × 10 m 的方形坑,深 50 cm。坑底铺以 5 cm 厚的砾石层,坑内在 2 m、4 m、6 m、8 m、10 m 5 个深度上各设置深标点两个,在湿陷影响范围之外(距试验场 60 m)设基准点 3 个,以监测不同深度上湿陷情况。

金崖试验点最大湿陷量为 22.85 cm,其他深度上自重湿陷量见表 1 所示。显然这一数据比典型的兰州钢厂(99.25 cm)^[2]和兰州综合电机厂(67.4 cm)

要小很多。这个试验点的黄土自重湿陷量比较小,与其长期灌溉有关。据调查,该区从 1958 年以来兴修水利,至上世纪 70 年代初已形成大规模的灌溉区,所以这里的湿陷性已大部分损失。

为了取得当地原始状态下黄土的湿陷性,我们在金崖村试验点附近未灌溉过的黄土中挖了一个深 15 m 的探井,每隔 1 m 取原状土样一个,在实验室中测其主要的物理力学性质指标,黄土湿陷性主要指标见表 2。由表 2 可以看出,15 m 深度以上自重湿陷量为 96.25 cm。由于室内测试是在有侧限的条件下进行的,而野外试验是处于无侧限条件下,又加之浸水范围大于试坑范围,所以野外试验结果常常大于室内实验值结果。二者比例系数为 K ,在兰州地区 K 值为 0.1~4.1,如选用附近相同浸水条件下兰州钢厂 K 值(1.72),那么金崖未灌溉黄土上的可能自重湿陷量可达 165.55 cm。上述野外试验结果只有 22.85 cm,说明由于灌溉损失比可能应有的湿陷性减少 86.2%。

从金崖村探井自重湿陷系数看(表 2),在探井 15 m 深度上还远远没有达到自重湿陷的下界,其湿陷性达到峰值,单层湿陷量达 10.2 cm。表层黄土

表 1 金崖试点不同深度实测自重湿陷量

Table 1 The amount of self load collapse at various depth

| 深度/m | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
|--------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| 湿陷量/cm | 22.85 | 16.95 | 9.5 | 8.1 | 6.8 | 2.9 |

收稿日期:2004-12-01

基金项目:重庆大学博士后基金项目(2003-5-2)“土壤侵蚀空间变异性研究”资助

作者简介:卢玉东(1969—),男,河北唐山人,长安大学博士后,副教授,从事水文地质与工程地质等方面教学科研工作。

表 2 金崖村探井样品室内计算自重湿陷量
Tab 2 The self load collapse of testing sample from exploration well in Jinya village

| 取样深度/m | 干密度 /g·cm ⁻³ | 孔隙比 | 湿陷起始压力/kPa | 自重湿陷系数 δ _{ZS} | 湿陷量 /cm |
|--------|-------------------------|-------|------------|------------------------|---------|
| 1 | 1.27 | 1.123 | 30 | 0.008 | 0.8 |
| 2 | 1.29 | 1.085 | 32 | 0.016 | 0.6 |
| 3 | 1.30 | 1.079 | 35 | 0.023 | 2.3 |
| 4 | 1.24 | 1.175 | 13 | 0.066 | 6.6 |
| 5 | 1.26 | 1.138 | 13 | 0.055 | 5.5 |
| 6 | 1.25 | 1.160 | 7 | 0.089 | 8.9 |
| 7 | 1.24 | 1.170 | 17 | 0.067 | 6.7 |
| 8 | 1.22 | 1.213 | 4 | 0.043 | 4.3 |
| 9 | 1.31 | 1.054 | 71 | 0.055 | 5.05 |
| 10 | 1.26 | 1.142 | 26 | 0.059 | 5.9 |
| 11 | 1.25 | 1.162 | 55 | 0.098 | 9.8 |
| 12 | 1.24 | 1.170 | 20 | 0.105 | 10.5 |
| 13 | 1.23 | 1.201 | 35 | 0.093 | 9.3 |
| 14 | 1.26 | 1.142 | 38 | 0.098 | 9.8 |
| 15 | 1.28 | 1.115 | 33 | 0.102 | 10.2 |

(自地表往下约 3 m 以内)湿陷性较小,接近地表 1 m 以内基本无湿陷性。这说明在巨厚黄土区,降水或灌溉水由上到下缓慢渗透进黄土层,垂向流量逐渐减少。这样深度越大,黄土的自重湿陷性越大。由于降水等作用,上部为非自重湿陷性黄土,下部为自重湿陷性黄土,即形成“双层构造”的黄土^[3]。过去一般认为黄土一旦浸水发生湿陷,就不再发生湿陷了。从上述试验中证明了黄土可以发生多次湿陷。

3 室内实验分析

定量表征黄土湿陷性的指标是湿陷系数。为了研究方便,以风干黄土试样(含水量 $w = 0$)为标准,不同湿度试样在同一压力下的变形系数与风干黄土样变形系数之差,为该黄土试样的湿陷系数。但在实际工作中应以天然湿度为标准^[4]。

为探求黄土湿度与湿陷性的关系,我们取西安市某建筑场地黄土试样进行了室内实验。试样黄褐色,具大孔隙,地层属马兰黄土。经测定该样品天然密度为 1.47 g/cm³,天然湿度为 19.2%。将在同一层位采取的 7 个黄土试样,浸水饱和,再风干于空气中,控制风干时间,以取不同湿度的试样。置于固结仪内,分别按 0.05,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8 MPa 9 个压力档次作压缩试验,并于 0.8 MPa 时加水饱和使试样产生湿陷。令土样压缩量与土样原高之比为变形系数。我们以风干黄土试样为标准,令不同湿度试样在同一压力下的变形系数与风干黄土样变形系数之差为广义湿陷系数。在上述实验中,利用双线法可求得不同湿度下的广义湿陷系数(表 3)。

表 3 一个黄土试样在不同湿度与压力下的广义湿陷系数
Table 3 The loess extend collapse coefficient under various water content and stress

| 湿度 / % | 压力/MPa | | | | | | | | |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| 6.4 | 0.0056 | 0.0031 | 0.0041 | 0.0054 | 0.0071 | 0.0104 | 0.0155 | 0.0231 | 0.0266 |
| 13.0 | 0.0059 | 0.0047 | 0.0104 | 0.0225 | 0.0373 | 0.0489 | 0.0606 | 0.0713 | 0.0792 |
| 16.9 | 0.0095 | 0.0119 | 0.0369 | 0.0592 | 0.0840 | 0.1090 | 0.1302 | 0.1470 | 0.1598 |
| 28.2 | 0.0174 | 0.0309 | 0.0886 | 0.1366 | 0.1714 | 0.1926 | 0.2149 | 0.2259 | 0.2338 |
| 40.3 | 0.0166 | 0.06485 | 0.1458 | 0.1828 | 0.2057 | 0.2344 | 0.2406 | 0.2413 | 0.2507 |
| 47.8 | 0.0314 | 0.0829 | 0.1582 | 0.1996 | 0.2257 | 0.2436 | 0.2574 | 0.2674 | 0.2507 |

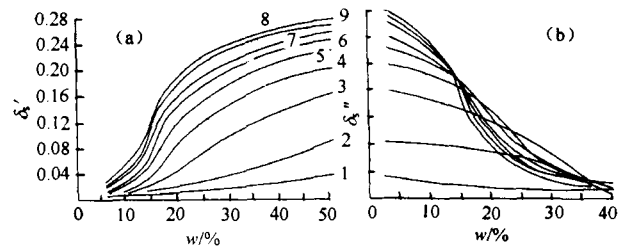


图 1 黄土土样的广义湿陷系数(a)、潜在湿陷系数(b)与湿度的关系曲线

Fig.1 The sketch reflecting relationship between extend collapse coefficient (a); potential collapse coefficient (b) and water content of loess samples

注:1~9 分别为:压力档次为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8 MPa

显然,《黄土规范》中所说的湿陷系数是饱和湿陷系数或称最大湿陷系数,用 δ_s 表示。而在不同湿度下,对应的未饱和状态下的湿陷系数可称为广义湿陷系数,以 δ'_s 表示。当土样的湿度达到饱和湿度时,此时的广义湿陷系数就是一般所说的湿陷系数。未饱和时所产生的湿陷量并未把该压力下可能发生的湿陷潜力完全发挥,部分剩余的湿陷潜力可称为潜在湿陷系数,用 δ''_s 来表示: $\delta''_s = \delta_s - \delta'_s$ 。

广义湿陷系数可用来估算广义湿陷量:

$$I' = \sum_{i=1}^n \Delta h_i \cdot \delta'_{si}, \quad (1)$$

式中 I' 为未饱和带之总广义湿陷量; Δh_i 为某一计算单位黄土层厚度; δ'_{si} 为某一计算单位黄土层在 0.3 MPa 或 0.2 MPa 压力下的广义湿陷系数。

用潜在湿陷系数可以计算可能发生的潜在湿陷量:

$$I'' = \sum_{i=1}^n \Delta h_i \cdot \delta''_{si}, \quad (2)$$

式中 I'' 为未饱和状态到饱和状态潜在湿陷量; Δh_i 为某一计算单位黄土层厚度; δ''_{si} 为某一计算单位黄土层在 0.3 MPa 或 0.2 MPa 压力下的潜在湿陷系数。

广义湿陷系数、潜在湿陷系数与湿度的关系列于图 1 中。由图可见,广义湿陷系数在 δ'_s-w 座标上形成了一个复杂的曲线,但是对于工程实践中常

文章编号:1001-1986(2005)04-0065-04

非离子聚合物稳定水敏岩层的应用研究

裴向军^{1,2}, 黄润秋¹, 靖向党², 韩祥森¹(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 成都 610059;
2. 长春工程学院, 长春 130021)

摘要:水敏岩层机械破碎出露的新鲜岩面遇水侵蚀产生软化或泥化现象, 致使孔(槽)壁变形量增大而失稳。实验表明, 低聚合度、非离子型、结晶性好的高分子聚合物无固相稳定液, 能以较快的竞争吸附速度在岩石的内、外表面产生渗析胶结和吸附胶结, 并在不可逆的作用力下成膜, 因而能抑制由水引起的岩石软化、泥化和崩解, 可用以解决使用各类泥浆自由水滤失量大且泥皮易脱落而造成的孔(槽)壁坍塌问题。

关键词:水敏地层; 非离子聚合物; PAA 无固相稳定液; 钻孔; 坍塌

中图分类号: P634.64; O631.4 **文献标识码:** A

Applied research on stabilization of water-sensitive strata with non-ionic polymers

PEI Xiang-jun^{1,2}, HUANG Run-qiu¹, JING Xiang-dang², HAN Xiang-sen¹

(1. National Laboratory of Geo-Hazards Prevention and Geo-Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Changchun Institute of Technology, Changchun 130021, China)

Abstract: That water-sensitive stratum's fresh surface exposed by engineering machine are softened and argillized by water will cause the deformation of rock increasing and lead the hole (pit) wall to be unsteady. Experiments indicate that non-solid phase stabilizing fluid of macromolecule polymeric of low polymerization degree, non-ion and good crystallization is able to produce dialytic and absorbent cementation on the inner and outer surfaces of the rock with rapider competitive absorption rate and form a film under a irreversible agent. Therefore, PAA non-ionic polymers can be used to solve hole (pit) wall collapsing problems caused by a great quantity of free water filtered from mud and the mud skin easy to fall off since they restrain water's softening, argillizing and calving.

Key word: water-sensitive stratum; non-ionic polymers; PAA non-solid phase stabilizing solution; drill hole; sloughing

收稿日期:2004-11-2

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40402025)

作者简介:裴向军(1970—),男,蒙古族,内蒙古赤峰人,成都理工大学博士,副教授,从事岩土工程方向的研究。

见的湿度(5%~40%)和压力(0.3 MPa 以内)范围来说可以视为直线正相关关系,令它们的比例系数为 A_p (图中直线的斜率),谓之某一压力下的广义湿陷湿度系数,则:

$$A_p = \frac{\delta'_{sw2} - \delta'_{sw1}}{w_2 - w_1}, \quad (3)$$

式中 δ'_{sw1} 、 δ'_{sw2} 分别为湿度为 w_2 与 w_1 时的广义湿陷系数。

公式说明,如已知某一湿度状态下的广义湿陷系数,可利用 A_p 推求另一湿度下的广义湿陷系数。同理,在工程应用中,潜在湿陷系数与湿度亦可看作呈直线负相关关系,也可导出与上述类似的公式。

4 讨论

黄土的湿陷并不是一个简单意义上的压密过程,变形可包括两个过程:一是水分向黄土层渗透运动过程;另一个是土结构单元的位移过程。其变形的机理是由诸多因素造成的。这些因素不仅关系到

水分与黄土颗粒间联系的相互作用,而且联系到一定应力状态条件下黄土矿物颗粒晶体内部的变化^[5]。本次试验也表明,随时间的发展湿陷过程比水分渗透过程速度要慢,即湿陷发生的时间往往滞后于黄土中的水分渗入时间,湿陷的稳定在土层停止浸湿后一段时间以后才能达到。因此,湿陷变形量是应力、含水量、时间的函数,其变形是一个流变过程;黄土湿度状况对黄土地基湿陷性的评价影响很大,也说明现行的评价方法有待改进。

参考文献

- [1] 张苏民, 张炜. 减湿和增湿时黄土的湿陷性[J]. 岩土工程学报, 1992, (1): 57-61.
- [2] 孙建中等. 黄土的未饱和湿陷和多次湿陷[J]. 岩土工程学报, 2000, (3): 365-367.
- [3] 冶金工业部冶金建筑研究所等. 兰州黄土自重湿陷性黄土地基试验研究报告[R]. 1963.
- [4] 高国瑞. 黄土湿陷变形的结构理论[J]. 岩土工程学报, 1990, (4): 1-9.
- [5] 孙建中. 黄土的湿陷性及其与湿度的关系[J]. 水文地质工程地质, 1957, (11): 18-21.
- [6] 穆斯塔伐耶夫 A A. 湿陷性黄土上地基与基础的计算[M]. 北京: 水力电力出版社, 1980.