

减湿和增湿时黄土的湿陷性

张苏氏 张 炜

(机械电子工业部勘察研究院, 西安)

一、前 言

1990年初, 我们结合西安市东郊某工程, 对黄土在减湿和增湿的湿陷性状进行了试验研究。试验场地位于渭河Ⅲ级阶地。试验土样分别取自4个探井。取土深度2.0~9.0m。土呈褐黄色, 硬塑至可塑状态, 天然含水量为21.5~28.0%, 天然孔隙比为1.045~1.382, 湿陷系数为0.016~0.082, 属于西安地区中等偏强湿陷性土。

三、试验方法

由于采取了专门措施, 我们已能在试验室内对黄土土样在无荷情况下按要求进行增湿或减湿。增湿方法及其讨论在文献[1]中已有过叙述。本次采用的减湿方法是将环刀土样用微波烤干和自然风干两种方法进行脱水。试验表明两种减湿方法的结果是比较一致的, 如表1。同时还表明在有限的减湿幅度内(减湿后最小含水量为16.3%)、土样未见有明显的体缩现象, 可认为孔隙比基本保持不变。

表1

不同减湿方法浸水压缩试验结果对比

(天然含水量 $w_0=23.4\%$, 天然孔隙比 $e_0=1.082$)

减湿方法	减湿后含水量 (%)	各级荷重(kPa)下的孔隙比						
		50	100	200	300	400	500	浸水
微波烤干	16.5	1.069	1.059	1.044	1.026	1.006	0.992	0.755
自然风干	16.3	1.066	1.059	1.045	1.032	1.019	1.001	0.753
微波烤干	20.4	1.059	1.044	1.022	0.985	0.938	0.905	0.758
自然风干	20.4	1.058	1.048	1.028	0.988	0.935	0.885	0.755

本次试验对取自不同深度的土样用人为控制方法分别进行了不同程度的减湿和增湿, 然后在不同含水量情况(包括饱和)下进行压缩试验。浸水时的作用压力一般为200kPa, 部分土样为500kPa。

三、主要试验研究成果

(一) 减湿和增湿情况下的压缩试验

本次共进行了70次压缩试验。其中取自4#探井,深度分别为3m和7m的两组压缩曲线是具有代表性的,见图1和图2。根据这些压缩曲线,我们用双线法得出了不同含水量、不同浸水压力的湿陷系数曲线(图1(b)和图2(b))。可以看出,随着含水量的增大,湿陷系数将有明显的降低。表明黄土的湿陷性将随着增湿而减小,随着减湿而增大。而且还可看到,不同压力作用下的湿陷系数有一个峰值,在某一压力作用下,土将呈现出最大的湿陷性。我们称这个最大的湿陷系数为峰值湿陷系数,相应的作用压力为峰值湿陷压力。它们都将随着增湿而降低,随着减湿而增大。

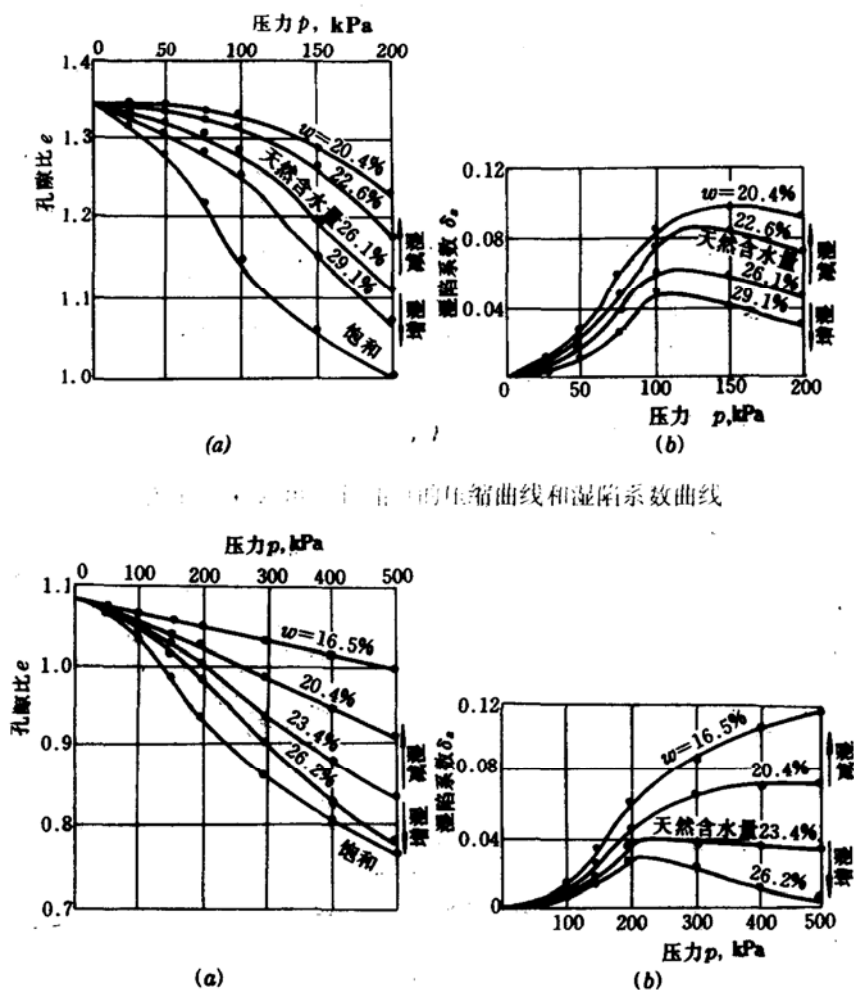


图1 深度3m处土(Ⅱ₂)的压缩曲线和湿陷系数曲线

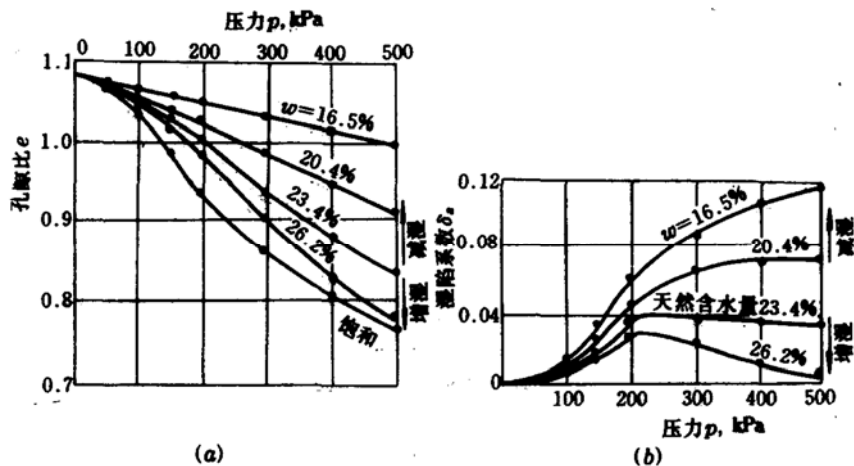


图2 深度7m处土(Ⅱ₂)的压缩曲线和湿陷系数曲线

(二) 湿陷系数与压力及深度的关系

湿陷系数与含水量的关系是非常明显的。这种关系在不同的浸水压力作用时的表现也是不同的。图3是根据同一探井中取自深度7m的土样试验结果绘制的。可见湿陷系数与压缩试验时(减湿或增湿后)土样的初始含水量之间基本呈现递减的直线关系。递减率(斜率)则随浸水压力的增大而增大。在低含水量情况下($w_0 \leq 20\%$),作用的浸水压力愈大,湿陷性也愈大。

但是随着含水量的增大, 这种规律也将有所变化。例如, 当含水量达到26.2%时, 最大的湿陷性将出现在浸水压力为200—300kPa的区段内, 压力超过该区段后, 湿陷系数将反而减小。

我们将不同深度处的湿陷系数(浸水压力为200kPa)点在湿陷系数-初始含水量的坐标平面上, 发现除了呈现出湿陷系数随含水量增大而减小的总规律外, 看不出随深度变化的明显规律。我们用统计的方法归纳了不同深度的直线画在图4上, 可见差异比较明显的因素并不是深度而是土本身的性质。在工程地质剖面上我们把深度5m以上和以下的土层分别划分为Ⅱ₁和Ⅱ₂层, 它们的孔隙比平均值分别为1.318和1.107。相应地, Ⅱ₁层土的压缩性、湿陷性都比Ⅱ₂层土要高些。对比图1与图2, 我们可看到土本身性质差异所导致对湿陷系数的影响。例如, Ⅱ₁层的峰值湿陷压力均小于200kPa, 而Ⅱ₂层均大于200kPa。在含水量小于20%时, Ⅱ₂层的峰值湿陷压力甚至将大于500kPa。

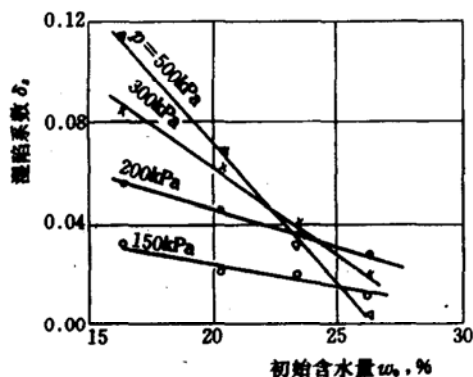


图3 湿陷系数与浸水压力的关系

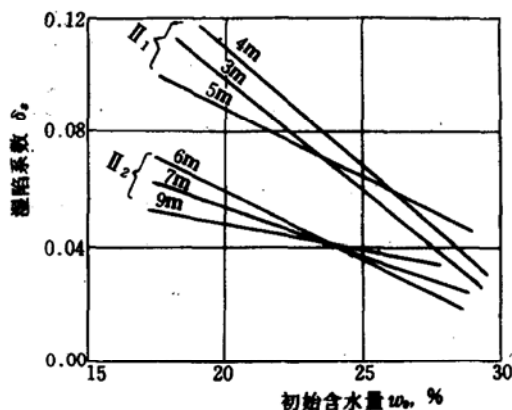


图4 湿陷系数与深度的关系

从图3和图4还可看出, 浸水压力也好, 土层性质也好, 它们对湿陷性的影响在低含水量时表现得要比高含水量时明显得多。随着含水量增高到某一界限值, 上述影响都将随着湿陷性的退化而消失。

(三) 湿陷起始压力和湿陷终止压力

1. 湿陷起始压力与初始含水量的关系

已有的试验资料^[1,2]和本文的图1(b)及图2(b)都已表明, 即使是在较小的压力作用下, 湿陷性黄土在浸水增湿时也有可能产生一定的增湿变形。因而严格地说, 并不存在发生增湿变形或湿陷变形的“起始压力”。我国《湿陷性黄土地区建筑规范》规定: “对湿陷性强的土层, 宜取 $\delta_s=0.015$ 所对应的压力作为湿陷起始压力值”是作为解决工程应用问题来考虑的。结合我们所提出的关于增湿变形的概念, 可以把增湿起始压力理解为湿陷性黄土在压力作用下由于增湿而产生的增湿变形正好达到 $\delta_s=0.015$ 时所需的最小作用压力。如果是充分饱和浸水, 这个压力就是《黄土规范》中所指的湿陷起始压力 p_{sh} 。 p_{sh} 值随试验前土的初始含水量的增大而增大, 并有随深度的增加而增大的趋势, 见图5。

2. 增湿起始压力与湿陷起始含水量

图2上的曲线族分别表示不同含水量的试验情况。图2(a)上最下面的那条曲线表示在预湿饱和情况下的压缩曲线, 将其上4条不同预湿程度的非饱和土的后湿压缩曲线分别与之比较, 各级压力下的纵坐标差就是相应的湿陷变形。从而可分别得出图2(b)上的4条湿陷系数曲线, 这些曲线构成一个以含水量为因子的曲线族。随着含水量的增大, 曲线逐渐降低平缓, 最后在含水量达到预湿饱和状态时, 曲线趋近于横坐标轴。

如果在某一个含水量情况下, 例如 $w=16.5\%$ 时, 在某一压力作用下非饱和增湿, 例如增

湿到 $w=20.4\%$, 此时将产生相应的增湿变形。图2(b)上 $w=16.5\%$ 与 $w=20.4\%$ 两条曲线的纵坐标差即表示在相应压力作用下这种增湿程度所产生的增湿变形 $\Delta\delta_s$ 。可以看出, $\Delta\delta_s$ 将随着压力的增大而增大。如果对 $\Delta\delta_s$ 也规定一个具有工程意义的界限值0.015, 则相应于 $\Delta\delta_s=0.015$ 的压力就可以理解为从初始含水量 $w_0=16.5\%$ 增湿到 $w=20.4\%$ 产生的增湿变形 $\Delta\delta_s$ 达到0.015所需要的最小作用压力, 即增湿起始压力。按此思路, 就可得出另外一组曲线族, 如图6。图上每一条曲线代表不同的初始含水量 w_0 , 横坐标为增湿达到的含水量 w ($w>w_0$), 纵坐标表示相应增湿区段($w_0\rightarrow w$)的增湿起始压力。可见, 增湿起始压力随初始含水量 w_0 的增大而增大, 随增湿含水量 w 或增湿程度的增大而减小。如果是充分浸水饱和, 增湿含水量等于饱和含水量, 某初始含水量的湿陷起始压力就等于该初始含水量的增湿起始压力。

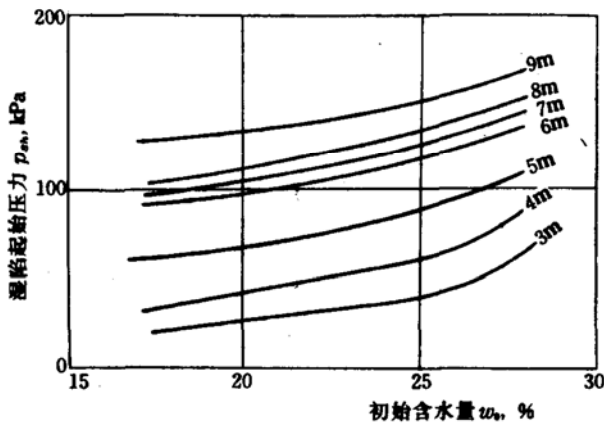


图6 湿陷起始压力与初始含水量的关系

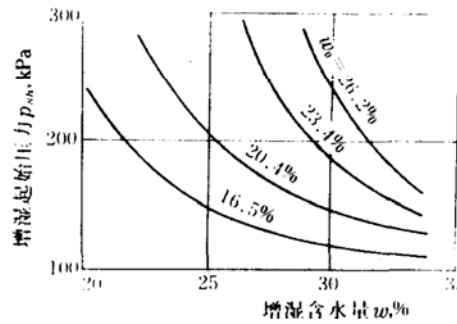


图7 不同初始含水量情况下增湿起始压力与增湿含水量的关系

对图6的曲线族还可以这样来理解: 如果初始含水量 w_0 为已知, 由增湿时的作用压力(后湿)和增湿含水量组成的点子如果落在与 w_0 相应的曲线上或曲线的右上方时, 相应的增湿变形 $\Delta\delta_s$ 将达到或超过0.015。

可以把湿陷起始含水量广义地理解为初始含水量为 w_0 的土在某一给定压力作用下增湿变形达到0.015时的最小增湿含水量。起始含水量大于初始含水量而以饱和含水量为最大值。湿陷起始压力就是最大起始含水量(即饱和含水量)时土的湿陷变形达到0.015时所需的最小作用压力。如果把图6的纵坐标看作为增湿时的作用压力, 那末横坐标也可理解为相应于某初始含水量 w_0 和给定作用压力下增湿变形达到0.015时的湿陷起始含水量。

3. 湿陷终止压力和湿陷压力区间

从图2(b)可见, 当压力超过某一值时, 湿陷系数不再递增反而会有所减小。当压力达到足够大时, 湿陷系数将降低到小于0.015以至趋近于零。就是说, 在某一个大压力作用下饱和浸水, 将不再产生显著的湿陷变形, 我们称这个压力为湿陷终止压力。只有当压力超过湿陷起始压力而又不大于湿陷终止压力时饱和浸水才可能产生相当于 $\delta_s\geq 0.015$ 的湿陷变形。这个压力区段我们称之为湿陷压力区间, 其幅度随着初始含水量的增大而缩减。图7就是根据试验资料绘制的曲线。可以看出, 当初始含水量超过曲线峰值b点所对应的湿陷极限含水量 w_{ul} 时, 不论在多大的压力作用下

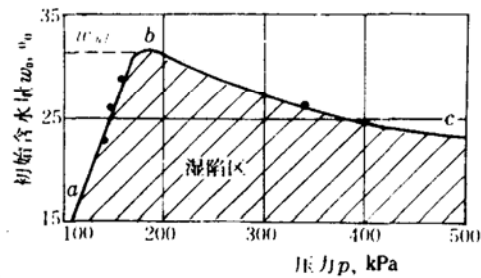


图7 湿陷起始压力(ab段)和湿陷终止压力(bc段)

饱和浸水, 都不会产生 $\delta_s \geq 0.015$ 的湿陷变形。曲线的前段 ab 即通常所称的湿陷起始压力, 曲线的后段 bc 为我们所命名的湿陷终止压力。当作用压力超过湿陷终止压力时, 土已被球应力所压密, 以至饱和浸水已不可能再产生相当于 $\delta_s \geq 0.015$ 的显著变形。

四、研究成果的实际意义

(一) 减湿和增湿对黄土湿陷性评价的影响

我们已经在另外的文章^[1]中详细阐述过关于湿陷性黄土的增湿变形机理。湿陷性黄土预先增湿后会使湿陷变形转化为加荷变形, 即湿陷性退化而压缩性增高。通过这次试验, 我们又得到了另一个方向的结果, 即湿陷性黄土在预先减湿后, 加荷变形会转化为湿陷变形, 即压缩性降低而湿陷性强化。这两种变形的转化在很大程度上是可逆的。某工程场地部分地段原为菜地, 因灌溉影响使该地段一定深度范围内土的含水量增高, 相应的湿陷系数较低。根据勘察时土的天然含水量情况来评价黄土的湿陷性, 灌溉地段的分级湿陷量比非灌溉地段低。但考虑到该场地已被征用, 当停止灌溉后土的含水量将由于蒸发减湿而降低, 此时湿陷性会有所提高。如果含水量从26%左右降低到22%左右, 土的湿陷系数将从0.037~0.061提高到0.070~0.080。

(二) 大压力作用下的湿陷性判定

在已有的工程实践中^[3], 已经发现在常规压力作用下按规范判定为非湿陷性的某些黄土, 在大压力作用下浸水后得出的湿陷系数有可能达到或超过0.015。通过本次试验研究需要指出的是, 不能认为在所有的情况下湿陷系数总是随着压力的增大而增大的。我们提出的湿陷终止压力的概念(见图7)可以说明在一定的条件(土的初始密度、初始含水量、结构强度等)下, 过大的压力会使土被压密, 加荷变形将完成总变形量的相当大部分, 土的湿陷性将相对减弱以至完全消失。但是, 大压力作用下黄土的总变形量将是相当大的, 在工程实践中应予以充分考虑。

参 考 文 献

- [1] 张苏民, 郑建国. 湿陷性黄土(Q_3)的增湿变形特征. 岩土工程学报, 1990, 12(4): 21~31.
- [2] 郑建国, 张苏民. 黄土的湿陷起始压力和起始含水量. 工程勘察, 1989, (2): 6~10.
- [3] 张旷成, 郝增志, 周克善. 论深层黄土地基的湿陷性——渭北某大型工厂勘察实例. 第五届国际工程地质大会论文选集, 1986: 10~15.