

# 黄土湿陷变形量计算方法的改进

刘祖典 党发宁 胡再强

(西安理工大学岩土工程研究所, 西安 710048)

**【摘要】** 论述了黄土湿陷变形特性,对工程中惯用的黄土地基湿陷变形量计算方法提出了改进,使其更符合工程实际。

**【关键词】** 黄土;黄土湿陷变形特性;变形量计算方法

**【中图分类号】** TU444

## The Improved Calculation Method of Collapsibility in Loess Foundation

**【Abstract】** The characteristics of collapsible loess soil are discussed. An improved method for calculating the collapsible deformation is proposed. This method has super practical meaning for designing the foundation of structure buildings.

**【Key words】** Loess; deformation characteristics of collapsible loess soil; improving method for calculating deformation of loess soil

黄土和黄土状土在我国黄河中游地区分布较广,据50年来的工程实际和试验研究表明,黄土有湿陷性与非湿陷性两类。湿陷性黄土又因浸水受力情况不同分为自重湿陷和非自重湿陷黄土。湿陷的特性为变形量大、速度快,具有突变性和不可逆性,对建筑物的危害性大。因此,在湿陷性黄土地区进行建设,首先需要查明黄土的湿陷性、湿陷类型和湿陷等级等。由于各地区黄土的堆积时代、生成环境及成岩作用程度等的差异,其湿陷性质并不完全相同,如早、中更新世( $Q_1$ 和 $Q_2$ )黄土基本不具湿陷性( $Q_2$ 在高压下有轻微湿陷性),晚更新世( $Q_3$ )、全新世( $Q_4^1$ )和新近堆积( $Q_4^2$ )黄土具有湿陷性,且湿陷性的差异较大。

50年代我国在黄土地区开始了大规模的工业与民用建筑,由于对黄土的湿陷变形规律认识不够,出现了许多建筑工程事故,开始了

对黄土湿陷变形的研究。在学习原苏联经验的基础上总结了我国实践经验,从20世纪60年代开始,先后制定实施了三代湿陷性黄土地区建筑规范(即66,78和90规范)。理论与实践相结合,是50余年来我国广大黄土力学研究与工程工作者的创新结晶,对指导我国黄土地区大规模经济建设发挥了重大作用<sup>[1]</sup>。但这几代规范是以工业与民用建筑的湿陷性黄土地基为主要对象,未涉及水工和道路工程建筑湿陷性黄土地基处理,偏重于根据地基各分层土样在标准压力(200 kPa)作用下的单轴压缩浸水的试验值,对湿陷性黄土场地的湿陷性质、类型的评定,对具体建筑地基的湿陷量计算涉及的比较少,因之常给具体建筑地基设计中带来一些不肯定因素。本文的意图在于如何根据不同区域土性、建筑平面位置、基础平面尺寸、埋深和地基中附加应力大小与分布等

**作者简介:**刘祖典,1914年生,男,汉族,陕西省人。1940年毕业于西北农学院水利系,农学士,同年留院工作。1956年莫斯科建筑学院进修,西安理工大学教授,长期从事水工、岩土工程教学及黄土力学的研究工作。

确定地基的湿陷量,为地基设计处理提供比较准确的依据。因为黄土的湿陷是在水和力的共同作用下产生的,水使土颗粒间的胶结软化,基质吸力减小,吸附强度降低,为土在一定压力作用下发生湿陷创造了充分条件,但只有水无一定压力(含自重压力),湿陷不会发生。湿陷量的大小与所受力的强度和水湿程度几乎成比例关系。土的初始含水量( $w_0$ )高低决定土体的

压缩变形与湿陷变形的反比例关系,初始含水量低,在一定压力下的压缩变形小,湿陷变形大;反之,当  $w_0$  高时压缩变形大,湿陷变形小。力的大小决定湿陷量的大小,在力与水共同作用下的湿陷系数  $\delta_s$  变化规律见图 1 和图 2。图 1 示出原状黄土在同一压力作用下,湿陷系数  $\delta_s$  随含水量增大而增大。图 2 示出同一含水量下,湿陷系数  $\delta_s$  随作用压力增大而增大<sup>[1]</sup>。

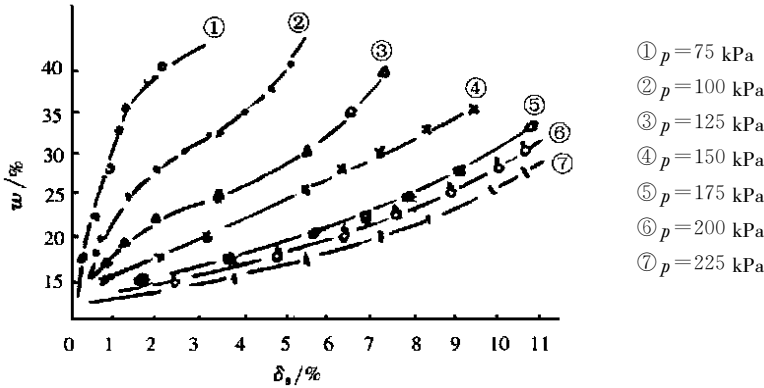


图 1 湿陷系数与含水量的关系曲线图

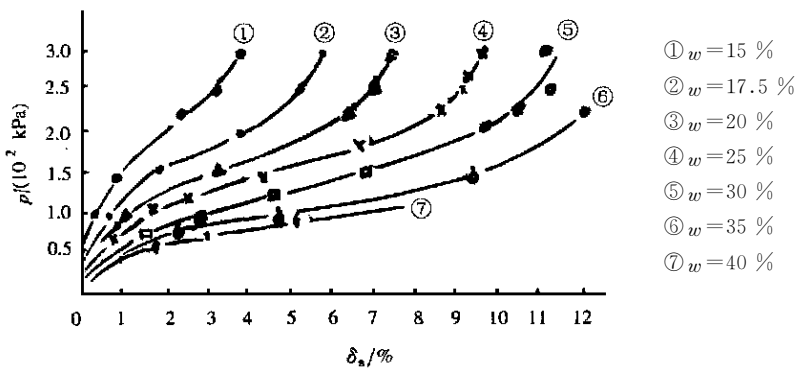
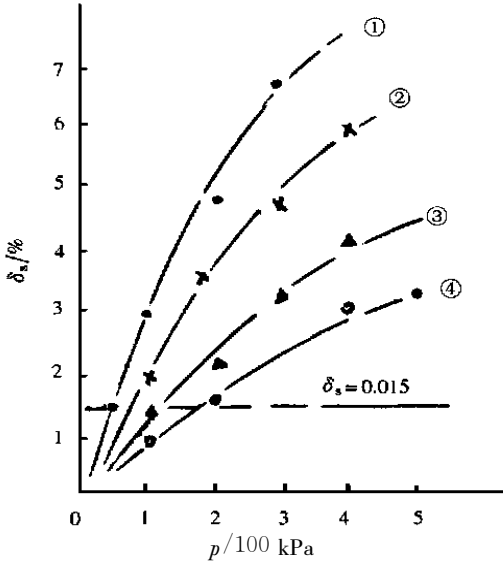


图 2 湿陷系数与压力的关系曲线图

图 1 和图 2 是陕西关中地区湿陷性黄土 ( $w_0=13\%$ ,  $\gamma_d=13.6 \text{ kN/m}^3$ ) 的压力、含水量和湿陷系数的相关曲线。曲线基本由三段组成,有两个转折点,前一转折点相当于一定浸湿含水量的湿陷起始压力( $p_{sh}$ ),或湿陷起始含水量( $w_{sh}$ ),在该转折点前段土中只产生压密变形,为土的结构强度发挥段,湿陷变形很小( $\delta_s < 0.015$ ),当压力超过第一转折点后曲线的斜率变缓,说明土的结构单元(或土的骨架结构)破坏,发生塑性错动

以致破坏,形成湿陷变形。随着含水量和压力增大,残余结构强度进一步降低或丧失,湿陷速率增大达到第二个转折点。此后由于侧向变形的限制,轴向变形减小,曲线上弯,表示由于侧限新的稳定结构形成,湿陷变形终止,这就是黄土在水和力的共同作用下发生湿陷的全过程。这一过程与黄土的起始含水量( $w_{sh}$ )、压力和重度( $\gamma_d$ )密切相关或成一定比例关系(见图 3)。它是陕西关中黄土地区用双线法

测定的不同重度(或隙比)、压力和起始含水量( $w_{sh}$ )与湿陷系数( $\delta_s$ )的关系曲线。可以看出,随重度( $\gamma_d$ )和起始含水量( $w_{sh}$ )的增大,湿陷系数随压力增大而减小。



- ①  $r_d=12.5 \text{ kN/m}^3$   $e=1.17$   $w_0=10 \%$
- ②  $r_d=13.0 \text{ kN/m}^3$   $e=1.08$   $w_0=15 \%$
- ③  $r_d=14.0 \text{ kN/m}^3$   $e=0.94$   $w_0=20 \%$
- ④  $r_d=14.5 \text{ kN/m}^3$   $e=0.87$   $w_0=25 \%$

图3 湿陷系数与压力的关系曲线图

现研究一个具体建筑物黄土地基的湿陷变形情况。在一定基底压力、不同基础平面尺寸和埋深地基中的附加应力随深度而衰减,自重应力随深度而增加,对非自重湿陷性黄土场地上地基的湿陷变形量,是在饱水情况下附加应力引起的,其湿陷量( $\Delta_s$ )应根据不同深度处与附加应力相对应的湿陷系数( $\delta_s$ )计算较

为合理,惯用 200 kPa 的湿陷系数,夸大了地基的湿陷量,不符合实际,常造成地基处理的难度和经济损失。对于自重湿陷性黄土场地上地基的湿陷变形量,应根据不同深度处的自重应力与附加应力之和相对应的湿陷系数( $\delta_{zs}$ )计算较符合实际,惯用自重压力的湿陷系数偏小。在实际工程中常出现,非自重湿陷黄土地基的计算湿陷量大于实测值。自重湿陷黄土地基计算湿陷量小于实测值<sup>[2]</sup>。这两种情况可能由于湿陷压力考虑不符合实际的原因,因此认为对黄土地基湿陷量的计算,应考虑地基中的应力的实际情况比较合理。

湿陷土层厚度的确定也是影响湿陷量的重要因素,其影响有时会增加湿陷系数的准确性,也是值得慎重考虑的问题<sup>[3]</sup>。

其次的问题是,地基浸水后,水在地基中沿深度湿度的变化也是动态的,不可能各深度土层都达到完全饱和状态,随着时间的推移,水分扩散速率相当快,这方面情况也是影响湿陷量的重要因素,因为实测含水量随时间的变化比较有一定的难度,现在只能将这一因素的影响作为安全储备考虑。现举一实例具体说明这些问题。

例如在非自重湿陷性黄土地基上建有 7 层砖混结构住宅楼,高 20.6 m,基础平面尺寸为 12.2 m×69 m,埋深  $d_h=1.0 \text{ m}$ ,天然含水量( $w_0$ ) 15%~29%,重度( $\gamma_d$ )由 13.0~15  $\text{kN/m}^3$ ,基底压力  $p=100 \text{ kPa}$ 。根据基底压力求得基础中心湿陷土层范围的附加应力和湿陷量( $\Delta_s$ )见表 2。

表2 黄土湿陷量计算表

受压层深度/m	分层厚度 h/m	$\gamma_d/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$ $w_{sh}/\%$	分层内平均附加应力/kPa	相当于附加应力的 $\delta_s$	分层湿陷量 $\Delta_s/\text{cm}$	标准压力(200 kPa)下的 $\delta_s$	分层湿陷量 $\Delta_s/\text{cm}$
3	3	13.0/15	95	0.018	5.4	0.035	10.5
5	2	13.0/15	77	0.015	3.0	0.035	7.0
9	4	14.8/29	51	0.003		0.014	
13	4	15.0/25	32	0.002		0.014	
					∑8.4	∑17.5	

按黄土规范  $\Delta_s = \sum \beta \delta_s h = 1.5 \times 8.4 = 12.6, \text{cm}$   $\Delta_s = 1.5 \times 17.5 = 26.3, \text{cm}$

由表 2 可以看出,由于湿陷系数选用不恰当,地基的湿陷量有较大的差异,增加了地基处理的难度。

因此,建议今后对黄土地基土的压缩与湿陷试验应采用双线法,可测定地基各分层土样在相应的起始含水量( $w_{sh}$ )和重度( $\gamma_d$ ),分级加荷的  $p-\delta_s$  曲线见图 3。供地基在实际压力(含自重压力)下的湿陷系数,供湿陷等级评价和湿陷量计算。

用双线法对每层土只需测定符合该层土( $w_0, \gamma_d$ )的  $p-\delta_s$  曲线,供设计单位采用,给勘察单位增加试验工作量有限,但有较大的实用效益。

关于黄土浸水湿陷性规律和特征,我国学

者已经积累了极丰富的科学研究与实践经验,但在黄土湿陷量的计算方法上还存着缺陷。本文所提计算方法,既考虑了基础形状、尺寸、基底压力大小和地基持力层中附加应力(含自重压力)的分布水平等,全面反应了地基土的物理力学性质、受力和变形情况,计算结果也较符合实际,可供工程设计参考。

### 参 考 文 献

- 1 刘祖典. 黄土力学与工程. 西安: 陕西科技出版社, 1996
- 2 罗宇生. 湿陷性黄土地基评价. 岩土工程学报, 20(4)1998
- 3 GBJ 25-90 湿陷性黄土地区建筑规范

收稿日期: 2001-04-13

(上接第 133 页)

者之中较大者; 当  $\alpha \geq H \cot \varphi$  时, 无论  $q$  多大, 对  $E_a$  均无影响。

2) 把均布荷载按一定角度向下扩散的简化方法的计算结果与库仑理论计算结果在  $\alpha < H \cot(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$  时差别还不算大, 但当  $\alpha \geq H \cot(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$  时, 简化方法与库仑理论计算结果就可能出现很大差别。这在计算中应该注意, 不宜盲目套用简化方法。另外, 简化方法假定不管  $q$  多大, 破裂角(潜在滑裂面与水平面的夹角)与  $q=0$  时一致, 即始终为  $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$  (墙背竖直光滑时), 这种假定也是不太妥当的。从库仑理论计算结果可以看出, 滑裂面位

置实际上会因  $q$  的存在而后移。这在依据潜在滑裂面位置进行设计计算的情况下应当引起注意, 比如加筋挡土墙的筋材长度设计问题。从本文的初步计算结果可以看出, 用上述这两种简化方法计算墙背主动土压力是否合适是商榷。

### 参 考 文 献

- 1 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学. 北京: 清华大学出版社, 1994
- 2 雍景荣, 朱凡, 胡岱文. 土力学与基础工程. 成都: 成都科技大学出版社, 1995
- 3 中华人民共和国冶金工业部. YB 9258-97 建筑基坑工程技术规范. 北京: 冶金工业出版社, 1997

收稿时期: 2001-04-20