

白水河大桥场区黄土地基湿陷性分析

李辉¹, 刘海政², 王绪冰²

(1. 中国建筑材料工业地质勘查中心陕西总队, 陕西西安 71003; 2. 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 山东青岛 266590)

摘要:以白水河大桥施工场地黄土地层为研究对象,分析场地黄土的湿陷系数、自重失陷系数与深度的关系,湿陷量、自重湿陷量与深度的关系,研究得出场区的黄土湿陷特点;研究区地貌单元属河谷阶地区,地处阶地前缘斜坡处,发生湿陷的地层为上更新统风积黄土、古土壤及中更新统风积黄土层。湿陷性黄土主要有轻矿物、重矿物和粘土矿物组成。黄土的化学组成主要为 SiO_2 ,其次为 Al_2O_3 , Fe_2O_3 和 CaO 等,但黄土湿陷性的发生与黄土的矿物组成及化学组成关系较小。综合分析研究区黄土湿陷性影响因素,认为湿陷性主要影响因素为含水状态,应力状态等。对比分析湿陷系数,湿陷量随深度的变化规律:随着计算深度的增加,湿陷量、湿陷系数均呈先增加后减少趋势。最终判定研究区地基湿陷等级为Ⅲ级,为严重湿陷。该研究成果对工程建设中遇到的黄土湿陷的分析及其治理具有重要意义。

关键词:湿陷性黄土;湿陷系数;湿陷量;白水河大桥

中图分类号: TU444

文献标识码: B

引文格式:李辉,刘海政,王绪冰.白水河大桥场区黄土地基湿陷性分析[J].山东国土资源,2016,32(6):61-65.LI Hui,LIU Haizheng,WANG Xubing. Collapsibility Analysis on Loess Foundation in Baishuihe Bridge Area[J].Shandong Land and Resources, 2016,32(6):61-65.

0 引言

黄土在一定压力作用下受水浸湿后,结构迅速破坏而产生显著附加沉陷的性能,称为湿陷性。黄土的湿陷性分为自重湿陷性和非自重湿陷性2种^[1]。黄土湿陷性主要是通过湿陷系数、自重湿陷系数、湿陷量、自重湿陷量等湿陷性指标反映,不同的湿陷指标反映出不同的湿陷程度。黄土湿陷变形具有非连续性、突变性和不可逆性,常造成构筑物地基以及边坡等的破坏,严重危及构筑物的稳定性和安全运营。因此,在湿陷性黄土地区进行工程项目设计与施工时,为确保工程安全必须对黄土湿陷性进行合理评价。正确认识并评价黄土湿陷性,具有重要的理论意义和实际应用价值^[2-5]。基于现场湿陷性实验和三轴压缩实验,黄雪峰等^[6-8]研究了大厚度自重湿陷性黄土地基的处理法并提出地基的处理宜采用整片处理。赵伟^[9]探讨了大厚度黄土地区地

基处理深度的问题,认为处理深度达到12 m以上时,继续加大处理深度的意义不大。王雪浪^[10]对大厚度湿陷性黄土的湿陷变形机理做了深入的研究并获得了石灰桩挤密有效半径和桩壁膨胀压力增量的计算公式。连杰明^[11]对湿陷性黄土地基处理的主要指标做了探讨并提出桩间土挤密系数应以消除地基土的湿陷性和满足地基的承载力特征值为前提。

然而,目前在工程实践中主要通过表征湿陷性强弱的湿陷系数 δ_s 、自重失陷系数 δ_{zs} 、湿陷量 Δs 和自重湿陷量 Δz_s 中的某一个或某几个指标对黄土湿陷(性)的评价具有不全面性。而且,即使在同一区域内不同场地间的地质条件也存在差异性,单一对某一指标进行评价常使评判结果与实际情况不完全相符^[12-16]。

白水河大桥位于渭南市白水县,是蒲白高速的重要子工程,由于工程场地处于大厚度黄土区,在施工过程中出现严重的黄土湿陷。该文基于黄土湿陷

收稿日期:2015-09-23;修订日期:2015-11-09;编辑:陶卫卫

作者简介:李辉(1978—),女,山西绛县人,主要从事工程地质及岩土工程勘察等方面工作;E-mail:lhcuishuo@163.com

性指标的综合分析,对白水河大桥工程建设过程中出现的黄土湿陷性进行了分析,对工程建设的安全性及黄土地基的处理具有重要指导意义。

1 黄土湿陷性主控因素分析

1.1 黄土地层结构特征

研究区位于陕西省白水县白水河大桥工程区,构造属扬子地台构造单元,构造系由东西走向的紧密褶皱和压性断裂组成的强烈挤压带,地质构造极为复杂。桥墩区沟谷较开阔,附近有沥青路通行,交通条件较好,发育有 F_6 断裂,断层面产状为 $190^\circ \angle 65^\circ$,段距大致为 15~20 m。桥墩区以白水河沟断层 F_6 为界,以北地震基本烈度值为 VII 度;以南地

震基本烈度值为 VII 度。该区地貌单元属河谷阶地区,地处阶地前缘斜坡处,根据现场钻探揭露资料(图 1),研究区地层由上而下依次为上更新统风积黄土、古土壤、中更新统风积黄土、中更新统冲洪积碎石,以及奥陶纪太原组石灰岩组成,其中上更新统风积黄土呈褐黄色,大孔隙较为发育,局部见有钙质结核,上层含少量块石、碎石,稍湿,硬塑—坚硬。层厚约为 6.8~8.3 m,具湿陷性。古土壤呈棕红色,见孔隙,具团粒结构,含少量的钙质结核,稍湿,较硬。见黑色条纹及斑点。层厚约为 1.6~3.3 m,具湿陷性。研究区复杂的地质构造及破碎的岩体结构是研究区地表水下渗的基本通道,为黄土地层发生湿陷性作用的基本条件。

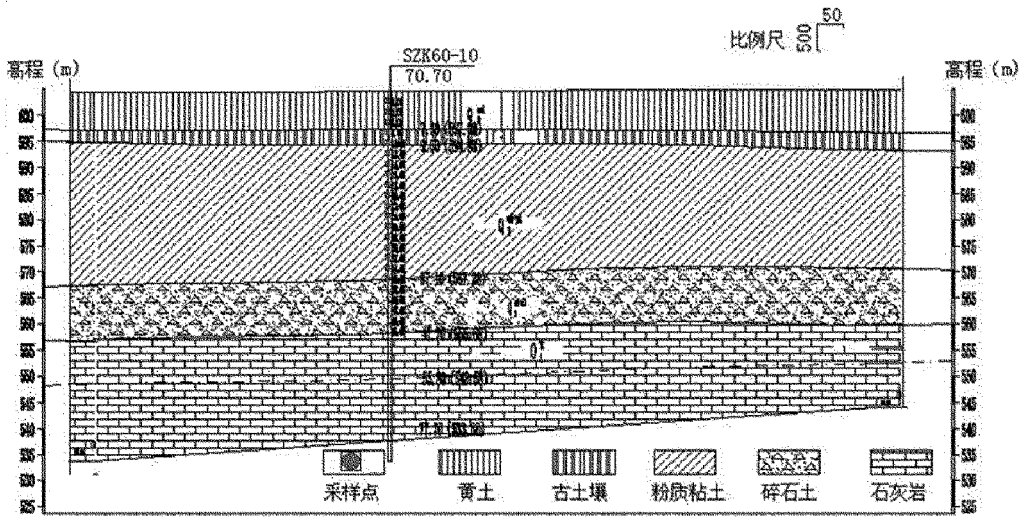


图 1 研究区地质剖面图

1.2 黄土地层矿物成分分析

白水河大桥工地黄土的主要矿物中,轻矿物约占 86%~91%以上,主要矿物为石英、正长石、斜长石等;重矿物约占 8%~10%,主要矿物为黑云母、白云母、角闪石等。粘土矿物是黄土粘粒的主要组成部分,也是影响黄土活性的最活跃的部分^[12-15]。粘土矿物由原生矿物和次生矿物组成,主要以伊利石为主,其次还有蒙脱石和高岭石,绿泥石等少量矿物。研究区黄土的化学组成主要为 SiO_2 , 约占 50%,其次还有 Al_2O_3 , Fe_2O_3 和 CaO 等;这与研究区黄土含有少量可溶盐及氧化不充分有关。研究区的黄土湿陷性主要是由于黄土中大量的亲水矿物和

节理裂隙的存在,极易导致水分的渗入,使一部分可溶盐矿物发生水解流失而造成湿陷性特征。

1.3 场区水文地质特点

研究区地表水主要为白水河小股流水,河床坡降较小,由于后期人为影响,水量较小。地下水类型为第四纪松散岩类孔隙潜水,水位埋深 12.90~4.60 m,赋存于第四纪全新统冲洪积层孔隙中。

黄土天然含水程度对湿陷性影响显著。通常黄土含水量越高,黄土湿陷性越低,当含水量达到 25%时,黄土就基本不再有湿陷性^[16](图 2)。在黄土湿陷性问题中,无论是上部载荷还是天然含水度等因素主要是通过影响黄土的微结构及物质成分进

而造成黄土湿陷。富含孔隙是黄土所具有的一大特点,湿陷系数与孔隙比成正相关,即孔隙比大,湿陷系数高^[16]。该研究区的黄土湿陷性特点与该区地表水与地下水关系密切。

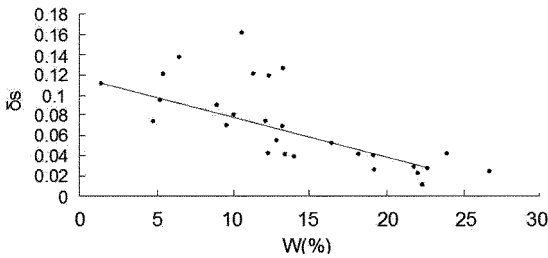


图 2 天然含水量与湿陷系数关系图

2 黄土湿陷性综合评价

2.1 湿陷系数与自重湿陷系数的对比

湿陷性一般用湿陷系数来评价。研究过程中对自重湿陷系数和湿陷系数同时进行了测试。自重湿陷系数(δ_{zs})是黄土试样在与其饱和自重压力相等的压力作用下,压缩稳定后的湿陷值与土样原始高度的比值;湿陷系数(δ_s)是指黄土试样在某压力(p)作用下稳定的湿陷变形值与试样原始高度的比值(式 1,2)^[1]。

$$\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \quad (1)$$

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (2)$$

式中: h_p —保持天然湿度和结构的土样,施加一定压力时,压缩稳定后的高度(cm); h'_p —加压稳定后的土样,在浸水作用下,下沉稳定后的高度(cm); h_z —保持天然湿度和结构的土样,加压至土样的饱和自重压力时,下沉稳定后的高度(cm); h'_z —加压稳定后的土样,在浸水作用下,下沉稳定后的高度(cm); h_0 —土样的原始高度。

实验过程采用室内浸水压缩试验测定黄土湿陷系数 δ_{zs} 和湿陷系数 δ_s ,测定时样品采自 ZK60-10 勘探点钻孔黄土试样,自上而下取 12 块样品进行试验(图 1),选取的试验压力(即评价黄土湿陷性的压力)不同,所测定的湿陷系数和湿陷系数及湿陷性评价结果亦不同(图 3)。

该次实验湿陷起始压力为湿陷性黄土的湿陷系数达到 0.015 时的最小湿陷压力。通过分析实验结果(图 3)自重湿陷系数与湿陷系数变化曲线可知,

在一定压力范围内(研究区湿陷压力介于土层计算深度在 0~750 cm 之间),黄土湿陷敏感性会随着深度的增加而增强。例如:在 0~450 cm 内,自重湿陷系数与湿陷系数均与土层计算深度成正比。当湿陷压力超过峰值压力(研究区计算深度为 750 cm)时,湿陷敏感性随压力的增大逐渐减小,如:在 950~1375 cm 内,自重湿陷系数与湿陷系数与计算深度成反比,这主要由于外部载荷及黄土自重对深部岩层的影响随深度增大而减小。由图 3 可知,研究区的湿陷终止深度在 1375 cm,由于受外部载荷的影响,湿陷系数较自重湿陷系数大。

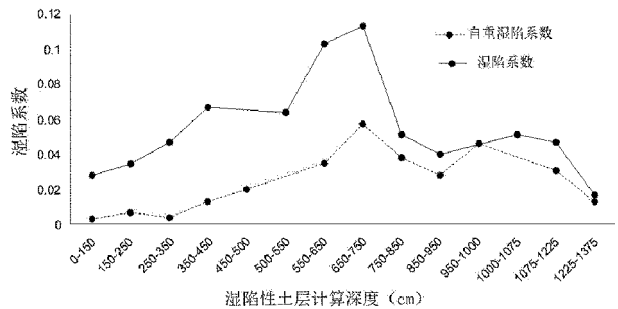


图 3 自重湿陷系数、湿陷系数对比关系图

2.2 湿陷量与自重湿陷量的判定

研究区湿陷量(Δs)与自重湿陷量(Δz_s)的判定是采用试坑浸水实验确定。湿陷量的大小,除了与土的湿陷性质及其厚度有关外,同时还与试坑面积、浸水时间、浸水量等因素有关。

计算自重湿陷量、湿陷量,分别按以下公式:

$$\Delta z_s = \beta_0 \sum_{i=1}^n \delta_{zsi} h_i \quad (3)$$

$$\Delta s = \sum_{i=1}^n \beta \delta_{si} h_i \quad (4)$$

式中: δ_{zsi} —第 i 层土在上覆土的饱和自重压力下的自重湿陷系数; h_i —第 i 层土的厚度(cm); β_0 —因土质地区而异的修正系数; δ_{si} —第 i 层土的湿陷系数; β —考虑地基土的侧向挤出和浸水机率等因素的修正系数。

研究区内自重湿陷量的累积,是从天然地面算起,至其下部全部湿陷性黄岩层的地面^[1]。通过勘探点(ZK60-10)现场实验得出湿陷量与自重湿陷量见图 4。

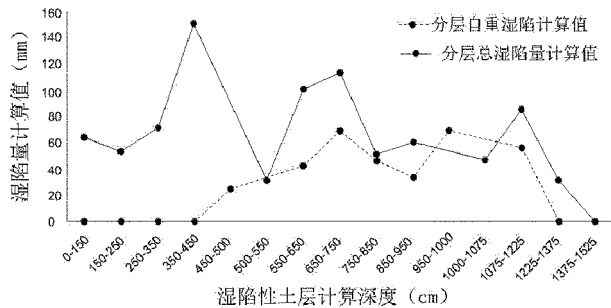


图 4 湿陷性土层计算深度与湿陷量计算值关系图

研究区湿陷性实验表明,由于受上层黄土自身重力作用,黄岩层从 450 mm 深处开始出现自重湿陷性,湿陷量较小,为 24 mm,往下湿陷量依次增大,在 650~850 mm 之间湿陷量发生剧烈变化,单层湿陷量减小。分析岩层可知,此段内岩性发生变化,由易湿陷性的黄土变为不易发生湿陷的古土壤,从 950 mm 深处开始土层又发生大规模的自重湿陷,通过分析岩性,此段内岩性为极易发生湿陷的粉质粘土。到 1 225 mm 时,虽然仍为粘岩层,但岩层不再受到自重作用的影响,因而不发生自重湿陷。最终,在没有外部载荷的作用下,研究区 ZK60-10 勘探点的自重湿陷总量为 338 mm。分析研究区 ZK60-10 勘探点的湿陷量,相较于自重湿陷量,在受到外部载荷的作用下,从 1 225 mm 后粘岩层仍发生一定的湿陷,最终在 1 375 mm 时不再发生湿陷性,但易发生湿陷的岩层与自重湿陷相同。最终,湿陷量为 859 mm。自重湿陷量 30 cm,总湿陷量 50 cm,因而判定该点处地基湿陷等级为Ⅲ级,即为严重湿陷。

3 结论

(1)研究区位于白水河大桥工程区,地貌单元属河谷阶地地区,地处阶地前缘斜坡处,构造属扬子地台构造单元并发育有断层,地质构造复杂。发生湿陷的地层为上更新统风积黄土、古土壤及中更新统风积黄土层。研究区湿陷性黄土主要有轻矿物、重矿物和粘土矿物组成。矿物组成主要为石英、长石、云母等矿物,粘土矿物主要为伊利石等。研究区黄土的化学组成主要为 SiO_2 ; 其次为 Al_2O_3 , Fe_2O_3 和 CaO 等。

(2)对研究区黄土湿陷性影响因素综合分析,认为湿陷性主要影响因素为含水状态,应力状态等。对比分析湿陷系数,湿陷量随深度的变化规律:随着计算深度的增加,湿陷量、湿陷系数均呈先增加后减少趋势。研究区自重湿陷量为 338 mm,湿陷总量为 859 mm,判定研究区地基湿陷等级为Ⅲ级,即为严重湿陷。

参考文献:

- [1] 李智毅,杨裕云.工程地质学概论[M].北京:中国地质大学出版社,1994.
- [2] 高凌霄,栾茂田,杨庆.基于微结构参数主成分的黄土湿陷性评价[J].岩土力学,2012,33(7):1921-1926.
- [3] 王有林.黄土湿陷及其评价方法[D].兰州:兰州大学,2009.
- [4] 戴鹏程.湿陷性黄土地基处理方法研究[J].检测技术,2014(3):40-41.
- [5] 詹金林,水伟厚.高能级强夯法在石油化工项目处理湿陷性黄土中的应用[J].岩土力学,2009,30(增2):469-473.
- [6] 黄雪峰,陈正汉,方祥位,等.大厚度自重湿陷性黄土地基处理厚度与处理方法研究[J].岩土力学与工程学报,2007,26(增2):4332-4338.
- [7] 黄雪峰,陈正汉,哈双,等.大厚度自重湿陷性黄土中灌注桩承载性状与负摩阻力的试验研究[J].岩土工程学报,2007,29(3):338-346.
- [8] 黄雪峰,张广平,姚志华,等.大厚度自重湿陷性黄土湿陷变形特性水分入渗规律及地基处理方法研究[J].岩土力学,2011,32(增2):100-108.
- [9] 赵伟.大厚度湿陷性黄土场地地基处理深度的确定[D].兰州:兰州大学,2009.
- [10] 王雪浪.大厚度湿陷性黄土湿陷变形机理、地基处理及试验研究[D].兰州:兰州理工大学,2012.
- [11] 连杰明.挤密法处理湿陷性黄土地基主要设计指标探讨[J].水文地质工程地质,2012,39(6):87-92.
- [12] 米海珍,杨鹏.挤密桩处理湿陷性黄土地基的现场试验研究[J].岩土工程,2012,33(7):1951-1957.
- [13] 王文军.建设工程湿陷性黄土地基处理方法[J].煤气与热力,2014,34(8):17-19.
- [14] 刘争宏.浸水条件下湿陷性黄土地基桩基特性研究[D].西安:西安理工大学,2008.
- [15] 张世径.大厚度自重湿陷性黄土地区挤密法处理地基试验研究[D].兰州:兰州理工大学,2013.
- [16] 邢姣秀.影响黄土湿陷性因素分析研究[D].长安:长安大学,2004.

Collapsibility Analysis on Loess Foundation in Baishuihe Bridge Area

LI Hui¹, LIU Haizheng², WANG Xubing²

(1. Shanxi General Team of Geological Exploration Center of China Building Material Industry, Shanxi Xi'an 71003, China; 2. College of Geological Sciences and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266510, China)

Abstract: Based on the loess strata in Baishuihe bridge area, the relationship between the coefficient of collapsibility and the coefficient of self-weight collapsibility, the relationship between content of self-weight collapsibility and the content of collapsibility have been analyzed. It is concluded that the landform of the study area is the valley terrace. It is located at the leading edge of the terrace. Wet subsident layers are early Pleistocene eolian loess, ancient soil and middle Pleistocene eolian loess. The Collapsible loess are formed by light minerals, heavy minerals and clay minerals. Chemical compositions of loess are SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and CaO . However, collapsibility loess has nothing to do with the mineral composition and chemical composition of loess. Through analyzing collapsibility of loess factors in study area, it is thought that main influencing factors are moisture state, stress state and so on. After analyzing the relationship between coefficient of collapsibility, it is regarded that the content of collapsibility and the depth of collapsibility will increase accompanying with the increase of depth, wet and collapsibility coefficient will increase first and then decrease. It is concluded that the wet sinking level of the foundation in study area is III. It is serious wet subsidence. The research results have important significance for the analysis and treatment of the loess collapse in the construction.

Key words: Collapsible loess; coefficient of collapsibility of loess; content of collapsibility; Baishuihe bridge