

西安塬区中更新世 Q_2 黄土场地浸水试验研究

石怀清 张继文 王东红

(机械工业勘察设计研究院, 陕西西安 710043)

【摘要】 通过某大面积试坑浸水试验项目,对西安塬区 Q_2 黄土的自重湿陷性进行了试验研究,分析了 Q_2 黄土场地湿陷的特殊性及其原因,对类似场地湿陷类型的正确判定具有参考价值。

【关键词】 Q_2 黄土;重湿陷性黄土;坑浸水试验

【中图分类号】 TU 444

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.04.004

In-situ Immersion tests and analysis of MedioPleistocene Q_2 loess at Xi'an Tableland

Shi Huaiqing Zhang Jiwen Wang Donghong

(China JiKan Institute of Engineering Investigations and Design, Xi'an 710043, Shanxi, China)

【Abstract】 By using a larger immersion test pit in Xi'an loess tableland, collapsibility of Q_2 loess under overburden pressure was researched, and its Particular Characts of collapsibility was thoroughly analyzed, all of which will give a guidance to the determination of collapse pattern of similar sites.

【Key words】 Q_2 loess; collapsible loess under overburden pressure; immersion test in-situ pit

0 引言

黄土作为一种常见的工程地基,在世界各地分布较为广泛,其湿陷性对工程常常造成巨大的危害,极具破坏性。黄土分布区域辽阔,预防和减少黄土湿陷性带来的危害,查明黄土的湿陷类型在这一地区显得十分重要。

Q_2 黄土又称离石黄土,形成于距今 10~70 万年之间,埋藏于上更新统马兰黄土 Q_3 之下,由多层黄土和古土壤相间组成,一般的地层剖面可见到 L2、S2……L7、S7 共六层黄土、古土壤。

Q_2 黄土在常规压力、自重压力和更大工程总压力的不同条件下,湿陷反映是大不相同的,根据上世纪九十年代王曲电厂^[1]和蒲城电厂^[2,3]对 Q_2 黄土进行的大面积试坑浸水试验研究, Q_2 黄土在两个项目前期室内试验初步判定均为自重湿陷性黄土场地,湿陷等级为 II~III 级,但经过现场大型浸水试验结果表明,实测自重湿陷量值仅为计算值的 1/5 和 1/10 左右,判定该场地为非自重湿陷性黄土场地。

为了更好的对 Q_2 黄土的湿陷类型进行准确判定,在前人研究工作的基础上,作者通过参与某工程的大面积试坑浸水试验,利用相应的试验结果,对 Q_2 黄土自重湿陷的差异性进行分析,并进而对 Q_2 黄土湿陷类型的判定提出了建议。

1 试验场地岩土工程条件

1.1 地层结构组成

拟建场地勘探深度范围内的地基土分为 10 层。各地层的特征及主要物理、力学性质指标见表 1。

表 1 地层特征一览表

土名	特征描述	$w/\%$	e	δ_s	层厚/m
素填土① Q_4^{pl}	以粘性土为主,局部具湿陷性。	22.2	0.818	0.010	0.2~0.5
黑垆土② Q_4^{sl}	孔隙发育,局部具湿陷性。	21.6	0.868	0.015	0.3~1.0
黄土③ Q_3^{col}	褐黄色,具较强湿陷性。	24.5	1.130	0.044	0.2~5.0
古土壤④ Q_3^{sl}	黄褐—褐色,局部具弱湿陷性。	21.4	0.807	0.005	2.2~5.3
古土壤⑤ Q_3^{sl}	棕褐—红褐色,不具湿陷性。	19.8	0.727	0.003	2.3~3.5
黄土⑥ Q_2^{col}	褐黄色,具湿陷性。	21.3	1.035	0.023	7.9~10.3
古土壤⑦ Q_2^{sl}	褐—红褐色,局部具弱湿陷性。	20.5	0.842	0.012	3.4~4.7
黄土⑧ Q_2^{col}	褐黄色,局部具弱湿陷性。	21.9	0.929	0.012	3.9~5.6
古土壤⑨ Q_2^{sl}	褐色—红褐色,不具湿陷性。	20.8	0.788	0.012	3.6
黄土⑩ Q_2^{col}	褐黄色,不具湿陷性。	20.7	0.848	0.003	5.10

1.2 场地黄土湿陷性的主要特征

根据室内试验结果绘制了场地自重湿陷系数与深度关系的散点图(见图1)。

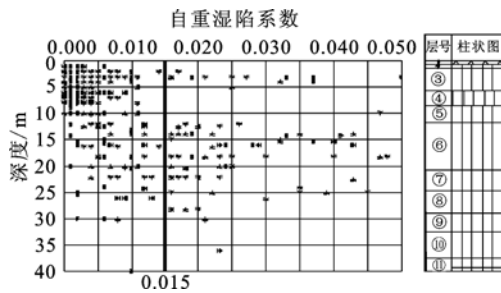


图1 自重湿陷系数随深度变化的散点图

从图1可以看出,本场地自重湿陷性土层主要分布在约30m范围内,即晚更新世 Q_3 黄土③层、中更新世 Q_2 黄土⑥层、古土壤⑦层和黄土⑧层内,自重湿陷量的计算值介于3.7~41.3cm之间,平均值为21.6cm。按照规范初步判定本场地属自重湿陷性黄土场地。

2 试验概况

2.1 浸水试坑设计

根据试验区室内土工试验结果,场地湿陷土层的下限深度约为现地面下27m左右,为正确评价场地的湿陷性,决定采用直径为30m的现场试坑浸水试验,实测场地自重湿陷量。

为加快试坑内地基土层的浸水饱和,在浸水坑内布置了直径为127mm、深度为10~30m的浸水孔32个,孔间距5m,呈方格网布置,孔内充填砂砾石,其分布及深度详见图2。

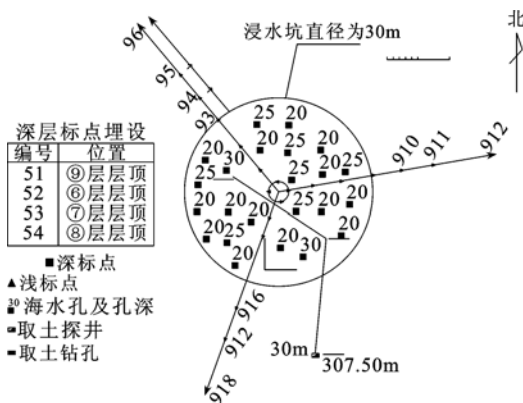


图2 沉降观测标点平面布置图

为了测量浸水后地基土表面和各层黄土的湿陷变形量及其影响范围,在试坑内外三个方向设置了沉降观测浅标点,在试坑中心区域不同深度设置深层沉降标点,分别设置在各主要土层的顶部,以观测不同土层的自重湿陷变形量。

2.2 试坑注水过程及水量

本次试坑浸水试验^[4]于2004年9月17日正式开始注水,浸水后期在试坑边三个方向不同位置取样测试地基土的含水量,结果表明地基土均已达饱和状态。各标点沉降量平均值满足连续5天的平均值小于1mm/d的稳定标准后,于2004年9月28日终止注水。整个注水过程历时73天,共消耗水量26855m³。

2.3 变形观测结果及分析

根据整个浸水试验变形观测结果,三个方向浅标点的变形量随注水量及浸水时间变化的曲线见图3。从曲线可以看出,浸水期内随着注水量的稳定增加,各浅标点总体均出现不同程度的上升现象,平均抬升幅度约为7.4mm。停止注水后,各浅标点开始出现下降趋势,至停水15d后,各浅标点平均下降3.4mm,且试坑内浅标点的下降幅度大于试坑外的下降幅度。

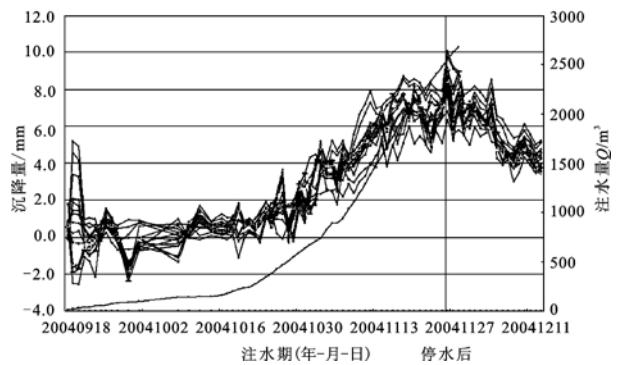


图3 浅标点变形量随注水量及浸水时间的变化曲线

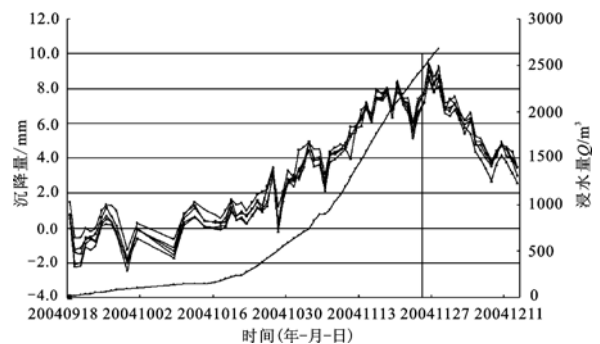


图4 深标点变形量随注水量及浸水时间的变化曲线

由图4可见,各深标点的变形表现出与浅标点相似的变形规律,浸水期间各深标点上升幅度介于7.2~8.7mm之间,停止注水后,各层深标点均开始出现下降的趋势,至停水15d的各层深标点的下陷量介于5.1~5.8mm。同浅标点相比,各阶段其上升的幅度相差不大,而停止注水后其沉降略大于浅标点。

本次现场试坑浸水试验结果表明,在大面积浸

水时,土层在自重应力作用下,未出现湿陷变形,试坑周围亦未发现因浸水引起的环状裂缝和阶梯状错落地表现,且各层深标点表现出与地面浅标点相同的变形规律,说明本场地在自重应力作用下,充分浸水后不致产生湿陷变形,按照规范有关规定,可以判定本试验区场地应属非自重湿陷性黄土场地。

3 室内试验与现场试验差异性分析

本场地现场浸水试验不但未发生湿陷变形,甚至产生了上浮的情况,这与室内试验的计算结果相去甚远,分析试验过程及相关的地质资料,追根溯源,造成如此大差异,可以从以下几个方面分析原因。

3.1 本场地黄土的分布特征—层拱效应

本场地 Q₂ 上覆的两层 Q₃ 古土壤(④、⑤)层结构相对密实,形成一种顶盖作用,而 Q₂ 黄土处于地基的中下部,由黄土与古土壤呈交互分布(黄土⑥、古土壤⑦、黄土⑧、古土壤⑨),属于多层组合结构,其物理力学性质不尽相同,应力路径相当复杂,形成自然层拱效应(见图5)。

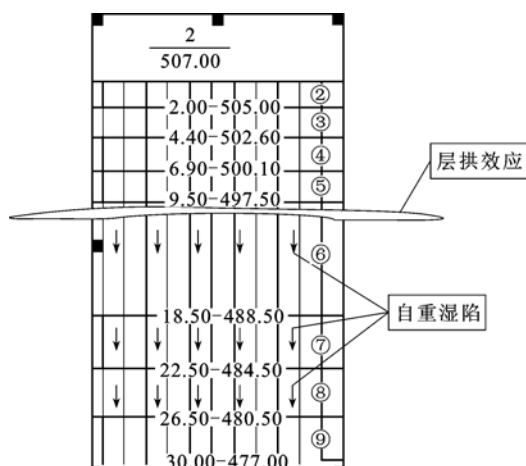


图5 塬区 Q₂ 黄土的层拱效应示意图

由于层拱效应,使下部土层在受水浸湿时所受的自重应力减小,未能导致土体中的结构大量破坏,不像室内试验过程中土样受力的边界条件那么简单直接,也就是说实际受力不及室内试验中土样所承受的压力大。因此,在充分浸水情况下,下部 Q₂ 黄土由于上部黄土的层拱抵抗、扩散效应,再加上 Q₂ 黄土的多层组合结构与湿陷特性^[5],浸水后其湿陷性不能充分发生,导致现场实测结果与室内试验结果相差悬殊。而下降变形值主要是由停水后土层固结产生的。在浸水试坑周围也未发现自重湿陷性黄土地区较普遍的迹象—环形裂缝,场区附近也没有发现碟形湿陷洼地,宏观上说明本场地没有自重湿

陷现象。

因此, Q₂ 黄土多层组合结构产生的层拱效应是导致本场地未产生湿陷变形的主要因素之一。

3.2 本场地黄土的微结构特征

对场地黄土的显微结构分析试验表明:本场地黑垆土②层以镶嵌—支架胶结结构为主,古土壤④层主要为镶嵌微孔胶结结构,古土壤⑤层主要为凝块胶结结构。根据黄土骨架颗粒的连接、排列方式和微结构特征,这几层黄土中骨架颗粒多呈镶嵌排列,颗粒间的接触联结以胶结联结为主,接触面积较大,结构比较稳定,浸水条件下其残余强度高,一般不具湿陷性。

室内试验所得这几层土的湿陷系数平均值分别为 0.015、0.005 和 0.003,与土层的微结构特征相吻合,基本不具湿陷性。因此在大面积浸水条件下,这几层土不会发生湿陷变形。

4 本场地湿陷变形上浮现象分析

本场地大面积试坑浸水试验,注水过程中土体上升,停水后下沉这一试验现象,与在蒲城电厂 Q₂ 黄土上进行的试坑浸水试验结果^[6]有相似性,说明该试验现象可能在 Q₂ 黄土中具有一定的代表性。分析浸水后产生上浮的原因,可以归纳为两点,即黄土的膨胀特性和“卸荷回弹”效应。

4.1 黄土的膨胀特性

当黄土的含水量增加,由于水分子与土粒的相互作用,黄土的体积会出现膨胀。本场地上部 Q₃ 土层粘粒含量介于 29%~45%之间,而相关资料中关中 Q₃ 马兰黄土的粘粒含量的分布范围一般介于 19.7%~31.4%之间,说明本场地上覆土层粘粒含量偏高。当场地黄土在水的作用下,水分沿微细裂缝接触到粘土颗粒,含量较多的粘土颗粒便吸附水分开始膨胀,进而产生了向上的位移变形。

4.2 黄土的“卸荷回弹”效应

土体在天然状态下,其自重应力为 γh (即天然容重与埋深的乘积),而在从上至下浸水条件下,其有效自重应力为 $\gamma' h + i\gamma_w h$,其中水力坡降 i 与上下土层的分层厚度及垂直渗透系数有关,当下覆土层的渗透系数与上覆土层的渗透系数之比较小的时候,浸水过程中的有效自重应力将小于天然状态下土的自重应力;此外,分布在试坑内的渗水孔也将加大土体的水头高度,使得有效自重应力进一步减小,产生相当于地基土“卸荷回弹”的效应;停止浸水以后,地层中的自由水位逐渐降低,土的自重应力也逐渐增大,从而产生压缩变形,土体产生下沉。

5 结 论

鉴于本场地自重湿陷性室内试验与现场大面积试坑浸水试验的巨大差异,并参考前人在王曲电厂和蒲城电厂^[6]的试验结果,可以得出 Q_2 老黄土的湿陷反映在自重压力条件下与 $Q_3 \sim Q_4$ 黄土是大不相同的,现场试验所显示的 Q_2 黄土多层结构地基的湿陷效应要较理想条件下的室内环刀试验复杂得多,受制约得多,对 Q_2 黄土湿陷性作综合评价时,应充分考虑这种差异。目前这种完全套用新黄土的评判模式和评判标准来研究 Q_2 黄土的湿陷性做法,可能无法反映 Q_2 黄土的特殊性,也就是说,以单个土样为模型的湿陷性研究结果用于新黄土较为吻合,用于 Q_2 黄土则差异较大,因此我们可以得出以下结论: Q_2 黄土湿陷性的评价方法采用室内试验结果往往与实际有很大的出入,因此对 Q_2 黄土地基湿陷类型在条件许可的情况采用现场试坑浸水试验结果判定湿陷类型为宜。

参 考 文 献

- [1] 雷祥义. 黄土高原南部晚更新世黄土地层划分、微管结构及力学性质特征[J]. 第四纪研究,1992(2).
- [2] 张苏民,湿陷性黄土的术语和基本概念[J]. 岩土工程技术,2000(1):42-46.
- [3] 刘厚健,论关中塬区 Q_2 黄土建筑工程性能[J]. 西北地质,1994(3):48-53.
- [4] 李大展,何颐华,等. Q_2 黄土大面积浸水试验研究[J],岩土工程学报,1993(2):1-11.
- [5] 陕西省计划委员会. GB 50025—2004,湿陷性黄土地区建筑规范[S],北京:中国建筑工业出版社 2004.
- [6] 衡朝阳,何满潮,景海河,等. 王曲与蒲城电厂湿陷性黄土地基浸水试桩比较[J]. 工程勘察,2002(3):19-22.

收稿日期:2012-05-07

(上接第 176 页)

参 考 文 献

- [1] 刘国斌,王卫东. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009:21-25.
- [2] 张光文. 满足位移协调的排桩一内支撑支护体系简化计算方法研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2010.
- [3] 方 焱,梁宁慧,耿大新. SMW 工法围护软粘土深基坑开挖蠕变特性分析[J]. 地下空间与工程学报,2009,5(4):797-801.
- [4] 吴祥祖,朱小龙,王慧康. 地下连续墙施工中常见问题及控制措施[J]. 施工技术,2005,34(6):51-53.
- [5] 颜荣华,黄广龙,梅国雄,等. 预应力混凝土支护管桩抗剪计算分析[J]. 南京工业大学学报(自然科学版),2010,32(5):49-53.
- [6] 周文苑,黄广龙,凌德祥,等. 预应力高强混凝土矩形支护桩的受弯性能[J]. 南京工业大学学报(自然科学版),2011,33(5):84-89.
- [7] 周 庆,郑吉成,李 君,等. 钻孔灌注桩施工常见故障和处理对策[J]. 施工技术,2012,40(356):28-31.
- [8] 王洪新. 水土压力分算与合算的统一算法[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(5):1057-1064.
- [9] 林立祥. 上海某深基坑围护结构深层水平位移测试及分析[J]. 岩土工程技术,2010,24(2):105-109.
- [10] 赵升峰,陈尚荣,汪 城. 人工神经网络在软土基坑土钉支护变形预测中的应用[J]. 施工技术,2009,38(S1):32-34.
- [11] R J. C. Jan; Shih—Lin Hung, M. ASCE; S. Y. Chi et al. Neural Network Forecast Model in Deep Excavation[J] ASCE Journal of computing in civil engineering. 2002,16 (19),59-65.
- [12] Yong Shao, P. E., M. ASCE; and Emir Jose Macari, M. ASCE. Information Feedback Analysis in Deep Excavations[J] ASCE International journal of geomechanics. 2008,8 (91) 91-103.

收稿日期:2012-05-15