

# 湿陷性黄土试坑浸水试验中土压力及含水量变化分析

罗奇斌<sup>1</sup>, 王家鼎<sup>1</sup>, 史竹叶<sup>2</sup>

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 中科院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌, 712100)

**摘要:** 湿陷性是黄土的重要性质之一, 湿陷性黄土遇水发生湿陷变形的过程中, 黄土土层的土压力及含水量相应的发生一系列变化。通过湿陷性黄土现场试坑浸水试验, 利用布设在试坑内及试坑周围埋设的传感器和张力计等监测仪器, 对试验过程中黄土土层的土压力及含水量的变化过程做了信息采集记录, 分析了其变化方式及规律。研究结果表明, 在试验过程中黄土土层的土压力及基质吸力均呈降低趋势; 在黄土湿陷变形过程中, 沉降或突降的时间点一般是在土层压力最小或接近最小, 含水量达到或接近饱和的时段。

**关键词:** 湿陷性黄土; 土压力; 含水量; 传感器

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0200-03

中图分类号: TU444

## Changes of Soil Pressure and Water Content of Collapsible Loess During Water Immersion Tests

LUO Qi-bin<sup>1</sup>, WANG Jia-ding<sup>1</sup>, SHI Zhu-ye<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Collapsibility is one of the important properties of loess. When collapses of loess occurred, soil pressure and water content changed correspondingly in sequences. In this study, water immersion tests were conducted with the collapsible loess in a field trial pit. With deployment of the sensors and tension meters in and around the experimental site, a large amount of data was collected regarding the changing patterns and rules of soil pressure and water content. The results show that the soil pressure and matric suction in the loess layers decreased during the experiment. During the deformation, abrupt subsidence of loess often occurred when the soil pressure was reaching its minimum and the water content was close to saturation.

**Keywords:** collapsible loess; soil pressure; moisture content; sensor

湿陷性黄土在发生湿陷变形过程中, 不同深度土层的土压力及含水量相应的发生一系列变化, 由此而引起的湿陷变形或塌陷, 对在湿陷性黄土区的各类工程建筑危害很大<sup>[1-2]</sup>。因此有必要对此方面做出相应的研究。

本研究通过湿陷性黄土现场试坑浸水试验, 利用土压力传感器及张力计记录了试坑内土压力的变化过程及试坑周围土层含水量的变化过程, 对其变化方式和规律进行分析和总结。

## 1 试验方法

在山西省闻喜县西宋村选取浸水试验场地, 浸水时间为 2010 年 12 月 4 日至 2011 年 1 月 6 日, 历时

34 d, 注入水量为 9 185.2 m<sup>3</sup>。两阶段浸水总历时 45 d, 总注水量 9 518.2 m<sup>3</sup>。注水方式采用机井抽水, 机井出水量约 30 m<sup>3</sup>/h, 单日注水量保证坑内水头高度稳定在 30~40 cm。

### 1.1 试坑设计和测点布设

依据勘察资料, 将该试验场地黄土自重湿陷最大深度初步确定为 25 m<sup>[3]</sup>。按照《湿陷性黄土地区建筑规范(GB50025—2004)》的要求, 试坑的设计为直径 25 m 的圆形, 共布设测点 111 个, 其中试坑内地表浅标点 21 个, 试坑外的地表浅标点 48 个, 最远的浅标点设计在坑外 25 m 处; 试坑内设深标点 42 个, 最深的深标点设置 25 m。在试坑内均匀布设 12 个渗水孔, 孔深 25 m<sup>[4-5]</sup>。

收稿日期: 2011-09-21

修回日期: 2011-11-07

资助项目: 国家自然科学基金项目“列车长持时振动引起高速铁路击实黄土振陷研究”(40972193); 高等学校博士学科点专项科研基金(20096101110016)

作者简介: 罗奇斌(1982—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士研究生, 主要从事地质工程方面研究。Email: luoqibing@126.com。

## 1.2 测试仪器布设

本次浸水试验在试坑内埋设测试仪器包括土压力传感器及试坑外围的张力计。土压力传感器采用 JDYJ 系列振弦式的土压力计;张力计选用指针式

土壤张力仪,量程为 100 kPa,管长 0.15,0.30,0.60,0.90 和 1.20 m 共 5 种规格。

试坑土压力传感器的埋置深度为 1~10 m,均按 2 点/m 布设,共 10 个层位各 20 个测点(表 1)。

表 1 试坑传感器测试布设

测试项目	起始时间	采集频率	起止时间	测试次数	测线数	试坑内测点数	试坑外测点数	测试深度/m
初始值测定	传感器埋设完毕	24 h	试验开始	多次	2	20	0	1~10
试验阶段	浸水开始	水位稳定前 30 min 浸水停止前 1 h 浸水停止后 2 h	试验结束	多次	2	20	0	1~10

张力计的 3 条测线 A,B,C 沿圆周呈弧形布设,分别距试坑边距离为 0.5,1.0 和 2.0 m,测试深度分别为 15,30,60,90 和 120 cm,以此反映由于试坑内水

分侧渗所引起的被测深度土层中水分含量的变化趋势及程度。共 15 个测点,试验区试坑张力计测试布设情况详见表 2。

表 2 试坑张力计测试点布设

测试项目	起始时间	时间间隔	终止时间	测试次数	测试点位	试坑内	试坑外	测试深度/m
初始值测定	张力计埋设完毕	8 h	试验开始	多次	试坑外 5 条测线,分别测定距试坑边不同距离(0.5,1,2 m),不同深度(15,30,60,90,120 cm),土中水分含量变化	0	15	0.15~1.2
试验阶段	浸水开始	8 h	试验结束	多次	试坑外 5 条测线,分别测定距试坑边不同距离(0.5,1,2 m),不同深度(15,30,60,90,120 cm),土中水分含量变化	0	15	0.15~1.2

## 2 试验结果分析

通过试验观测,试坑内浅层土体(1—4 m)在浸水开始后,由于受到上层水体压力作用(约 3~4 kPa),土压力明显升高,随着土层深度的增加,受上层水压力作用逐渐减小,约至 5 m 基本消失;中部及深部土层(4 m 以下)距渗水孔较近土体,饱和速度亦较快;停水后,随着土层深度的增加,土压力回升速度减慢。总体上试坑内部土压力在浸水期间,土压力逐渐减小,根据有效应力原理,此时孔隙水压力在逐渐增大,直至出现土体饱和;在停水后,孔隙水压力消散,土压力有所回升<sup>[6]</sup>。

将土压力变化情况与土层各标点沉降情况对比,由于试坑饱和浸水,水体不断进入土体孔隙并破坏土体原有结构,引起孔隙水压力逐步增大,土压力逐步减小,当土体达到饱和状态时,土压力降到最低值,接近稳定,而不同深度土层其单日最大沉降量发生时间均在土压力下降接近最低值的时段,或稍稍偏前;停水后,由于孔隙水压力开始消散,土压力随之而增加,由于孔隙排水,土体发生排水固结,而又出现沉降,其出现时间往往在停水后很短的时间内<sup>[7-8]</sup>。

通过上述沉降量与土压力对比分析及浸水量与张力计对比分析结果,可以得出沉降量与含水量变化关系。

张力计根据真空度变化原理直接测量土壤基质吸力。当土壤变干,与陶瓷头接触的湿度表面张力趋势于将管内的水分吸出,从而在管内顶部形成局部真空;当有水分浸入土壤,水分被吸回管内使真空度减少,继而通过负压计将真空度转化为直观的土壤水势。

通过试验观测,基质吸力变化根据 A,B,C 这条测线由近及远,随着试坑浸水时间增加,浸水影响范围逐渐扩大;观测表明,基质吸力降低首先发生在低于试坑底面深度的 1.2 和 0.9 m 深度处(试坑底面深度 0.5~0.6 m),其次为与试坑底面持平的 0.6 m 深度处及由于毛细力影响的其上 0.3 和 0.15 m 深度处,发生时间按 A,B,C 测线顺序依次展开;表层 0.15 和 0.3 m 深度对地表温度及湿度变化较敏感,受其一定影响(图 1)。

将含水量变化情况与之对比可以看出,在相同距离(距坑边 1 m)相同深度处(张力计深度 0.15~1.2 m,含水量深度 1 m),张力计与含水量表现出类似的

测试结果。随着浸水时间增加,张力计所表现的基质吸力减小,而含水量逐步增大;试验开始后,含水量增加迅速,相应的基质吸力降低速度也很快,饱和浸水 15 d 后,对应出土体接近饱和,含水量接近稳定,此时的基质吸力也基本消失。可以预见的是,停水后如继续观测,随着孔隙水的消散,含水量逐步降低,土层基质吸力将会逐渐恢复。

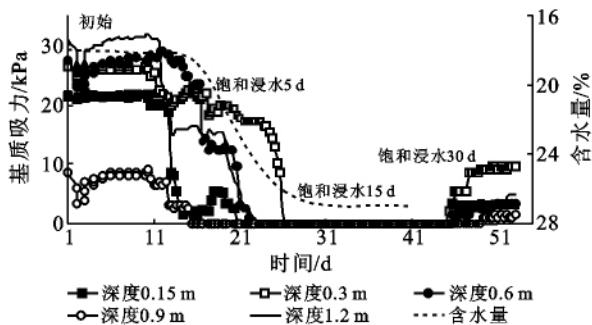


图 1 试坑张力计与含水量对比分析

### 3 结论

总体上,试验中土压力均呈降低趋势,浅层土体由于受到上层水体压力作用降低速度较慢,随着土层深度的增加,上层水压力作用逐渐减小,直至消失;中部及深部土层土压力降低速度较快,且深部土层速度稍快于中部土层。停水后,浅层土体土压力回升迅速,中部次之,深部土层最慢。将土压力变化曲线与沉降量变化曲线对比,沉降变形的发生是在土压力最低(或接近最低值)的时段,而此时对应的土层孔隙水压力则达到(或将要达到)最大值,即土层含水量达到

(或将要达到)最大值。

试验中土层基质吸力亦呈降低趋势,当土层含水量在饱和或接近饱和时,基质吸力基本消失。结合有效应力原理可知,土层基质吸力的最低值时段对应了含水量或孔隙水压力的最高值,即土压力值最低,亦即沉降变形发生的时段。

因此,在黄土湿陷变形过程中,沉降或突降的时间点一般是在土层压力最小或接近最小,含水量达到或接近饱和的时段。对于本次试验来说,经过观测发现,当土层含水量约达到 25% 时,沉降即开始发生。在湿陷性黄土区的工程建筑过程中应对于此问题加以重视。

#### [参 考 文 献]

- [1] 刘祖典,郭增玉,陈正汉. 黄土的变形特性[J]. 土木工程学报,1985(1):24-27.
- [2] 张苏民,郑建国. 湿陷性黄土(Q<sub>3</sub>)增湿变形特性[J]. 岩土工程学报,1992,14(1):57-61.
- [3] 陕西省计划委员会. GB50025—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.
- [4] 中华人民共和国建设部. GB50021—2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [5] 中华人民共和国建设部. GB50025—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] 冯连昌,郑晏武. 中国湿陷性黄土[M]. 北京:中国铁道出版社,1982:121-280.
- [7] 关文章. 湿陷性黄土工程性能新篇[M]. 西安:西安交通大学出版社,1992.
- [8] 高国瑞. 黄土湿陷变形的结构理论[J]. 岩土工程学报,1990,12(4):1-10.