

湿陷性黄土间歇浸水试验

刘 明 振

(西安冶金建筑学院)

一、引 言

在湿陷性黄土地区,湿陷是一种相当普遍的现象。湿陷变形的充分完成需要足够的浸入水量和浸水时间。实际上,地基浸水往往是断断续续多次进行的,地基大多处于间歇浸水条件之下。

根据土层每次浸水的饱和程度以及湿陷发展程度的不同,间歇浸水可分为四种情况^[1]。沿用以往的提法,本文所说的“间歇浸水”系指“土层的压力不变,每次浸水都达到饱和并使湿陷变形达到稳定”这一特定情况,以下将“浸水饱和并使湿陷变形达到稳定”简称“充分湿陷”。

当前工程界对这种条件下的再次湿陷变形存在与否看法不一。有人认为:湿陷性黄土在一次充分湿陷之后,即使压力不变,再次浸水时仍会有不可忽视的湿陷变形产生,所以建筑物处于这种条件下工作时应当预估和考虑这种变形^[1]。水电部颁布的《土工试验规程 SDS01-79》的说明书中肯定了这种观点。也有人认为:在上述特定条件下,湿陷性黄土不再产生附加湿陷变形;工程实际中的多次湿陷现象是由于以前湿陷不充分或压力等外部条件变化所致^①。

在以往试验的基础上,笔者通过改进试验方法和装置,验证了第二种观点。

二、间歇浸水试验

使用本文拟定的试验方法和装置,我们对三个场地上的85个湿陷性强弱不同的自重与非自重湿陷性黄土土样进行了不同压力下的间歇浸水试验,并对原状土及某一压力下不同浸水次数的土样进行了扫描电镜下的观察。

自重湿陷性土样取自甘肃工业大学,位于兰州市旧城西关外兰工坪,属黄河四级阶地。土层为黄土状亚粘土,二级自重湿陷性地基。非自重湿陷性土样取自连城铝厂和陕西渭南铁路工程学校两处。连城铝厂位于大通河三级阶地,为强烈自重湿陷性场地,但这次所取土样进行的试验表明,其自重湿陷性已经消除(取土地点可能经过浸水处理)。渭南铁路工程学校位于渭河三级阶地,我们从两个探井内取土,试验表明:五号探井的土样湿陷性较弱,七号井的土样湿陷性较强。三个场地部分土样的物理性质指标及颗粒组成列于表1。

(一)试验装置和方法

装置可分为送风和压缩两部分(图1)。压缩容器如图2所示。

① 十冶五公司等,预浸水处理湿陷性黄土地基的试验及应用,建筑技术通讯,1973年1月。

表1 部分土样的颗粒组成及其物理性质指标

土样 编号	取土 深度 (m)	粒 径 (mm)				γ (g/ cm ³)	w (%)	e	w_p (%)	w_L (%)	I_P
		0.10— 0.05	0.05— 0.01	0.01— 0.005	0.005 以下						
甘工大3	3.5—3.8	13	67	7	13	1.50	10.3	0.98	16.5	25.9	9.4
连铝4	4.5—4.8	12.1	61.6	9.9	16.4	1.51	9.7	0.96	17.9	24.9	7.0
渭5—4	4.5—4.8	13	65	7	15	1.65	15.1	0.92	16.4	25.0	8.6
渭7—3	3.5—3.8	5	77	10	8	13.8	13.2	1.22	17.1	29.8	12.7

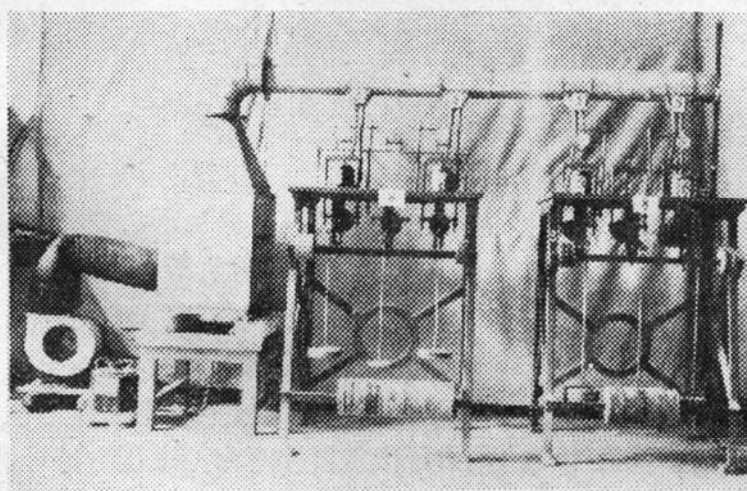


图1 间歇浸水试验装置

1. 风机 2. 自耦变压器 3. 空气预热箱 4. 送风主管 5. 送风支管 6. 压缩容器 7. 百分表 8. 加压台

试验方法简述如下:

1. 切土、加荷、浸水和变形测定方法同一般湿陷性黄土压缩试验。浸水时间应大于两小时且变形达到稳定。稳定标准为每小时变形量不超过0.01mm(以下同)。浸水压力分别为1.0, 1.5, 2.0, 3.0 kg/cm² 及上部复土饱和自重压力。

2. 向压缩容器内送风, 使试样在浸水压力下降低饱和度, 保证进入容器内气体的温度不高于50°C, 风压不大于10mm水柱高度。待试样恢复到规定含水量(即天然含水量或取土地区土层的平均含水量)后停止送风, 自然冷却, 量测并记录冷却时的变形量, 当试样与水之间温差小于3°C时才能再次浸水。

3. 按上述步骤反复进行第二次、第三次……浸水试验。

4. 试验过程中试样含水量的变化采用平行试验方法测定。所用的两个试样应取自同一筒土, 其天然容重之差应不大于0.03g/cm³。送风降低试

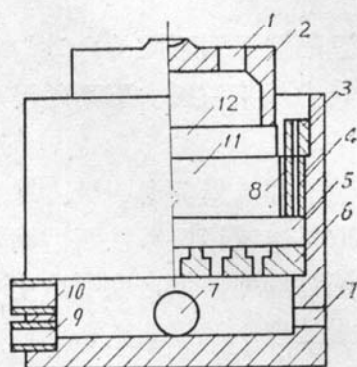


图2 压缩容器

1. 上部进出气孔 2. 传压盒 3. 加压导环 4. 护环 5. 下透水石 6. 底板 7. 下部透气孔 8. 环刀 9. 排水孔 10. 进气弯管 11. 土样 12. 上透水石

样饱和度时应将其接在相邻的两组送风支管上, 以保证它们在试验过程中湿度变化基本相同。因此, 只要对其中一个称重便可知道另一个试样的湿度变化情况。用于量测变形的试样始终不予称重。

(二) 试验结果及其分析

从85个试样的试验结果来看, 它们的变形过程是基本相同的。图3给出了几条有代表性的间歇浸水试验曲线; 表2列举了部分试验数据。鉴于第三次、第四次浸水的变形量均已小于0.003mm, 故未列出。由图3和表2可以看出:

1. 试样的二次浸水变形量均未超过0.01mm, 因此可以认为这种条件下的间歇湿陷变形实际上是不存在的。

2. 第一次湿陷变形稳定之后, 试样含水量由饱和减少到规定含水量的过程中将继续压密, 其变形量不可忽视。本文所做的试验中, 这一变形量的最大值达0.18mm, 接近试样高度的1.0% (试样高度为20mm)。

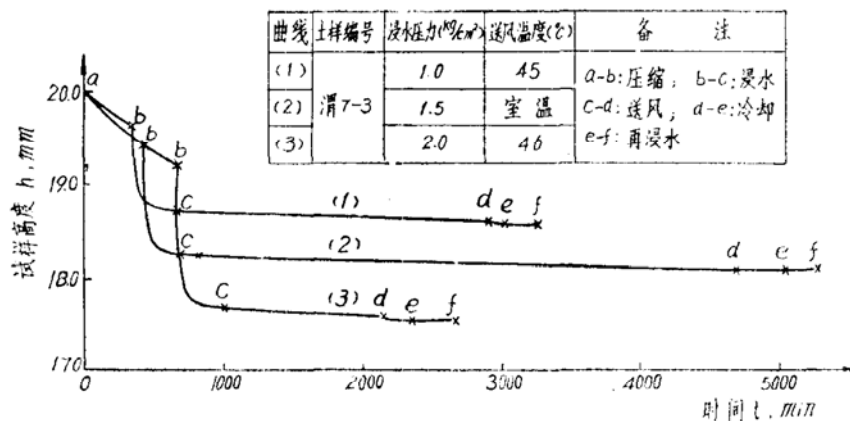


图3 间歇浸水试验曲线

3. 用热风降低饱和度的过程中, 试样冷却时有冷却变形产生。它主要是由于试样和压缩容器的冷缩所引起的。当土样处于非饱和状态时, 冷却使毛细力增加, 另外冷却还减少了试样与环刀间的摩擦, 导致土中有效应力增大。送入风的温度为室温时不出现这种现象。

黄土湿陷的机理一直是湿陷性土研究领域中的一个基本课题。长期以来, 各国学者通过各种途径利用各种先进技术进行了多方面的研究, 但至今尚未取得一致的看法。笔者通过扫描电镜观察认为: 低湿度条件下形成的湿陷性黄土内保存了大量的孔隙, 其中架空孔隙是湿陷时被破坏的主要部分^[2]。架空孔隙是由一定数量的颗粒 (包括次生颗粒) 松散堆积而成, 孔隙远比构成它的颗粒为大, 颗粒之间靠某些胶结物相互联结, 形成亚稳结构 (见图4)。在一定外力的作用下, 当水分浸入时非水稳性胶结物的强度削弱, 架空结构破坏, 产生湿陷变形。由此可知, 产生湿陷的内因是: ①架空孔隙存在; ②胶结物遇水强度下降。二者缺一不可。在非水稳性的胶结物中, 不论是可溶性的盐类, 还是亲水的粘土矿物, 遇水强度减弱的过程都可以在一次充分浸水中连续进行。因此, 外因 (压力) 不变条件下的湿陷变形亦可在一次充分浸水中来完成。同时也应看到, 试样在某一压力下经过一次、两次充分浸水之后, 仍残留一定数量的架空孔隙 (见图5, 6), 所以外力增大时, 遇水仍有可能产生湿陷变形, 但已不属本文的范围。

表2 间歇浸水试验部分成果

土样 编号	压 缩		浸 水			送风降低土样的饱和度			备 注
	压 力 (kg/cm ²)	变 形 (mm)	次 数	历 时 (min)	变 形 (mm)	次 数	历 时 (min)	降低饱和度过程中的变形(mm)/冷却变形(mm)	
渭 7 — 3	1.0	0.370	1	335	0.889				
			2	240	0.008	1	2395	0.175/0.015	
	1.5	0.582	1	300	1.181				
			2	220	0.002	1	4315	0.143/ 0	送入空气未加热
	2.0	0.802	1	340	1.495				
			2	350	0.003	1	1375	0.150/0.020	含水量降到19.8%
	3.0	1.751	1	180	1.377				
			2	260	0	1	4015	0.111/ 0	送入空气未加热
	0.45	0.314	1	293	0.416				
			2	425	0	1	1030	0.173/0.013	浸水压力为自重
	1.0	0.701	1	385	1.478				
			2	330	0	1	1150	0.167/0.017	
甘工大 2	1.5	1.039	1	295	1.718				
			2	330	0	1	1005	0.129/0.020	
	2.0	1.514	1	270	1.252				
			2	285	0	1	830	0.113/0.015	
	3.0	2.047	1	240	1.019				
			2	360	0.002	1	490	0.104/0.011	
	0.82	0.230	1	175	0.173				
			2	230	0.010	1	1265	0.100/0.013	浸水压力为自重
连 铝 4	1.5	0.449	1	210	0.233				
			2	180	0	1	1290	0.094/0.010	
	2.0	0.518	1	430	0.669				
			2	200	0.002	1	980	0.136/0.016	
	3.0	0.656	1	380	0.819				
			2	210	0.005	1	1080	0.180/0.020	

注：除注明者外，送入空气均经加热。



图4 在天然含水量下，加压到 $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 后，渭南土样中存在的架空孔隙
 $\times 1000$

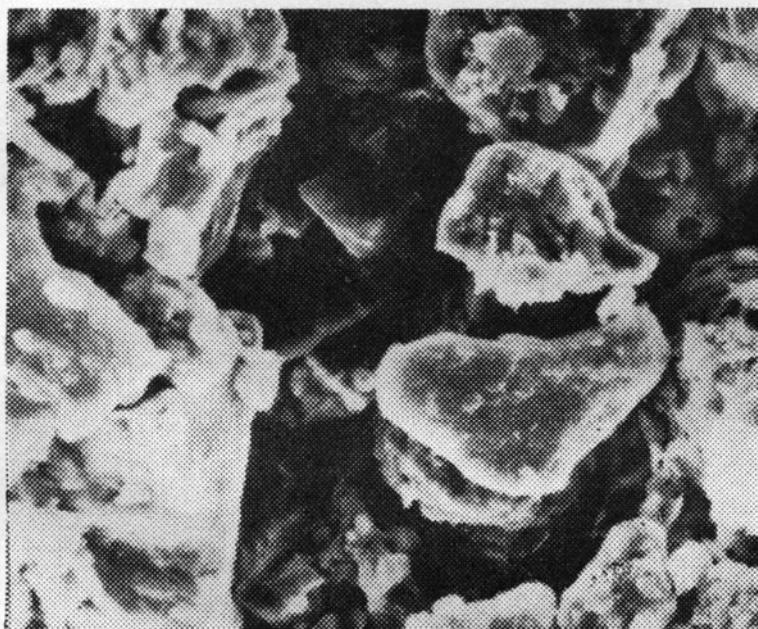


图5 在 $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 压力下，一次充分浸水湿陷后，渭南土样中存在的架空孔隙
 $\times 1500$

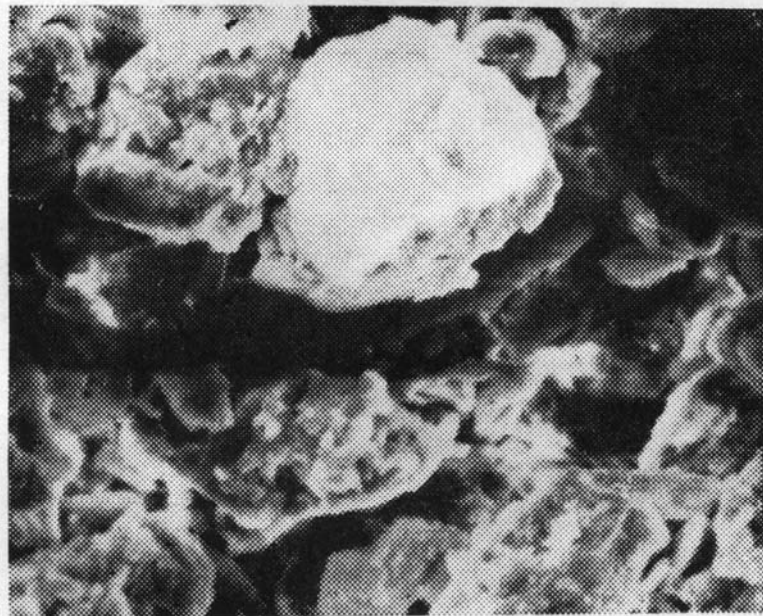


图6 在 $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 压力下，两次充分浸水湿陷之后，渭南土样中存在的架空孔隙
 $\times 1500$

(三)实例验证

1. 西安地区地下水升降模拟试验^②

场地位于西安市东郊, II级非自重湿陷性黄土地基, 地表1.8m以下为湿陷性黄土层。试验时确保土层充分湿陷, 测得两次浸水变形量如表3所示。

表3 西安地下水升降模拟试验部分成果

编号	基础形式	基础尺寸(m)	浸水方式	基底压力(kg/cm ²)	第一次浸水变形(cm)	第二次浸水变形(cm)
1	条形	8.0×0.8	自下而上	1.5	28.34	0.35
2	方形	1.5×1.5	自下而上	1.5	30.54	0.06

2. 陕西省某化肥厂工程地处渭河三级阶地, 持力层为新近堆积黄土和一般湿陷性黄土。表4为一次漏水事故中部分建筑物的下沉情况; 图7为造成这次事故的漏水窖井与这些建筑物之间的相对位置。可见, 尽管脱硫框架邻近漏水地点, 但因其建成后曾一度长期浸于水中, 下沉量达145.5mm, 湿陷变形已一次完成, 所以这次漏水事故中仅下沉3.0mm。

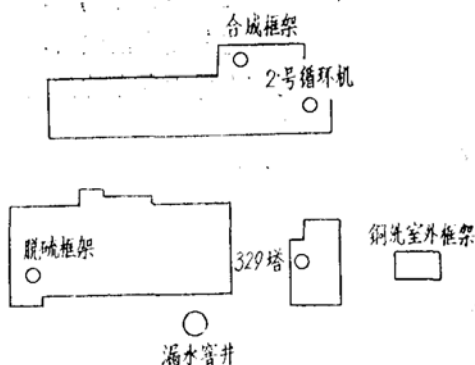


表4 漏水窖井周围一些建筑物的下沉情况

建筑物	329塔	钢洗室外框架	2号循环机	合成框架	脱硫框架
下沉量(mm)	179.50	146.40	72.00	52.25	3.0

图7 漏水窖井周围建筑物的相对位置

3. 罗马尼亚某工程地基预浸水处理^[3]

场地内为自重湿陷性黄土, 1963年6月进行第一阶段浸水处理, 待其变形稳定后又进行第二次浸水, 场地上三个地面点下沉情况如图8所示。由图8可知, 土层在不变压力(饱和自重)下, 经过一次充分浸水之后的再次湿陷变形实际上是不存在的; 现场实测曲线与笔者用室内试验所得曲线的形状十分相似; 更应指出的是, 土层在退水过程中也产生了相当可观的变形。

三、室内试验中出现“间歇湿陷变形”的原因分析

为什么在相同的前提条件下(压力不变, 一次充分湿陷后, 干燥到规定的含水量, 再次

② 国家建委五局建筑研究所, 地下水上升对建筑物地基的影响, 1972。

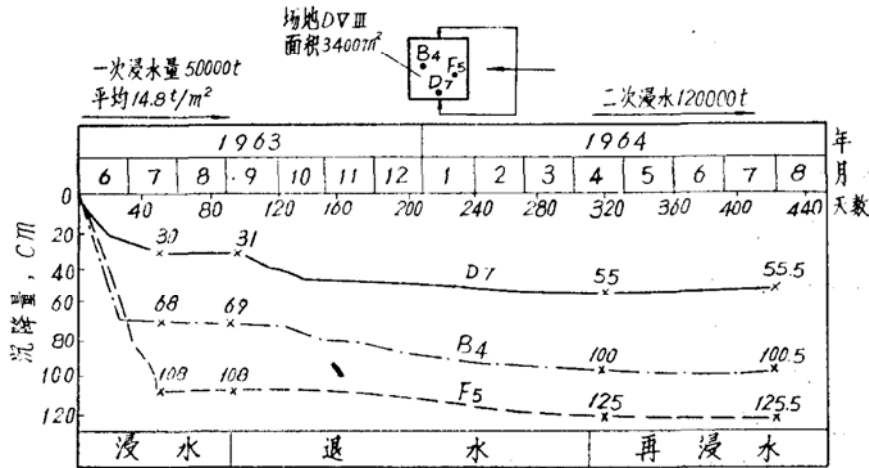


图8 DⅦ场地浸水-退水-再浸水时地面标点下沉与时间曲线

浸水)，会有截然不同的试验结果呢？笔者曾使用文献[1]和资料③的试验装置和方法，分别对“渭南土”和“甘工大土”进行了试验，其结果是：确有二次浸水变形量存在。这表明问题的关键在于试验方法。

(一) 取出试样称重和使用抽气法降低饱和度引起试样的扰动

文献[1]和资料③都采用取出称重的方法来测定试样在整个试验过程中含水量的变化情况。湿陷性黄土的灵敏度一般都比较高^[4]，含水量增加时更为显著。反复从容器中取出称重以及由此而进行的加荷卸荷过程，对土的结构可能产生影响。试验④表明：只要连续浸水一小时以上，试样的饱和度可达80%以上。笔者也用试验证明了这种看法。因此以“浸水两小时以上并使湿陷变形稳定”作为控制标准是完全可行的。笔者做了27组对比试验，结果表明：反复从容器中取出称重使二次浸水变形有不同程度的增长(见表5)。

表5 称重与不称重试样二次浸水变形对比试验部分数据

试样编号	渭5-4	渭7-2	渭7-3	渭7-3	甘工大1	甘工大1	甘工大3	连铝4	连铝4	连铝4
压力(kg/cm ²)	2.0	2.0	2.0	3.0	0.27	1.0	0.62	0.82	2.0	3.0
二次浸水 变形 (mm)	未称重 试样	0	0.002	0.003	0	0.001	0	0.005	0.010	0.002
	称重 试样	0.034	0.038	0.033	0.022	0.040	0.014	0.074	0.061	0.039

文献[1]采用抽气法降低试样的饱和度，流动的干热气体在近半个气压下透过饱和的土样时，有可能损坏极其脆弱的粒间联结，招致二次浸水变形。

(二) 试样在卸荷状态下降低饱和度

上述试验结果已经表明，试样在某一压力下浸水饱和并湿陷变形，在降低饱和度的过程

③ 陕西省水利科学研究所，湿陷性黄土间歇浸水试验(土试7616)，1976年12月。

④ 陕西省综合勘察院等，室内试验测定黄土的湿陷性，1975。

中将继续产生压密变形。文献[1]采用的方法是先卸荷,当含水量减少到规定值后再加荷。荷重的卸除不仅使压密变形过程不能进行,而且水膜的增厚使土体膨胀。含水量降低后土体强度增长,施加上原荷重已无法消除由此造成的欠压密状态,再次浸水时必然产生变形。

(三)温度影响

温度影响可分为两方面。其一是停止送热风后未预冷却便立即浸水,误将降温所产生的压缩容器和土样的收缩当作二次湿陷。笔者曾取两个试样按本文的方法做平行试验,两试样在 2.0kg/cm^2 压力下通入 50°C 的热风降低饱和度,待达到规定含水量后,一个冷却后浸水,测得冷却变形 0.017mm ,二次浸水不产生变形;另一个未预冷却便马上浸水,二次浸水变形 0.02mm ,可见后者实质上是冷却变形。其二是过高的温度可能影响土的工程性质。资料③采用在压缩容器内放置微型电炉的方法烘烤土样,温度高达 100°C 以上。斯肯普顿(Skempton)认为,土的有效应力强度参数(c' , φ')值受温度等因素的影响^[5]。穆拉耶玛(Murayama, 1969)证明,温度上升将导致粘土的弹性模量降低^[6]。米切尔(Mitchell)也指出,在其它条件相同的情况下,温度升高将使粘土的强度降低^[6]。粘粒是黄土中的主要胶结材料,其性状的变化可能导致湿陷性黄土工程性质的变化。

四、结 束 语

1.在给定的压力下,对某一特定试样来说,其总的湿陷变形量为一定值,等于该压力下一次充分浸水的湿陷变形量,而与浸水次数无关。

2.第一次湿陷变形稳定之后,地基将因土体饱和度的降低而继续变形。

3.工程实际中遇到的多次湿陷现象是由于产生湿陷的外部条件(如压力大小、浸湿范围、水头高低等)变化而引起的。

参 考 文 献

- [1] 孟宪麒、李祯祥,黄土区间歇性浸水运用渠系及建筑物地基的稳定变形与时间的估算,中国土木工程学会第一届土力学及基础工程学术会议论文集,中国工业出版社,1964。
- [2] 高国瑞,黄土微结构分类与湿陷性,中国科学,1980年第12期。
- [3] Beles., A. A., Stanculescu, I. I and Schally, V. R., Prewetting of Loess Soil Foundation for Hydraulic Structures, Proc. 7th ICSMFE, Vol. 2, 1969.
- [4] 林在贯,采取不扰动土样的理论及实践,工程勘察,1981年第3期。
- [5] Lambe, T. W. and Whitman, R. V., Soil Mechanics, SI Version, 1979.
- [6] Morgenstern, N. R., Structural and Physico-Chemical Effects on the Properties of Clays, Proc. 7th ICSMFE, Vol. 3, 1969.