

湿陷性黄土增湿和减湿效应的探讨

金梦熊

(信息产业部电子综合勘察研究院, 陕西西安 710054)

【摘要】 湿陷性黄土的湿陷性不是一成不变的。土中含水率的变化产生的增湿和减湿效应,对黄土湿陷性影响很大。进行黄土湿陷性评价时,应注意以动态的观点和方法综合分析、预测增湿和减湿效应的不利影响,以便采取有效的处理措施,消除工程事故隐患。

【关键词】 湿陷性黄土; 增湿效应和减湿效应; 黄土湿陷性评价

【中图分类号】 TU 444

Effects of Moistening and Demoistening of Collapsible Loess

Jin Mengxiong

(Electronic Comprehensive Investigation and Surveying Institute of Ministry of Information Industry, Xi'an Shaanxi 710054 China)

【Abstract】 Collapsibility of loess is inconstant. Effects of moistening and demoistening, caused by obvious variety of water content of loess, influence strongly to collapsibility of loess. When proceed to the evaluation to collapsibility of loess, should pay attention to synthetically analyse and estimate disadvantageous influences, caused by effects of moistening and demoistening, with the dynamic point of view and method, in order to adopt to effective measure to dissolve hidden trouble to engineering.

【Key Words】 collapsible loess; effects of moistening and demoistening; evaluation to collapsibility of loess

0 引言

湿陷性黄土是一种非饱和的欠压密土。在天然状态下,土的含水率低,压缩性较低,强度较高;但遇水浸湿时,土的强度显著降低,在附加压力或土的自重压力与附加压力共同作用下引起的湿陷变形,是一种下沉量大、下沉速度快的失稳性变形,对建(构)筑物危害性大。正确进行黄土湿陷性的评价,是湿陷性黄土勘察最重要的一项任务。

工程实践表明,黄土的湿陷性受多种因素的影响。土的含水率的变化对湿陷系数的影响很大。一般地说,土的含水率越低,湿陷系数越大;土的含水率越高,湿陷系数越小^[1]。

土中含水率的增减主要受大气降水、地表水和地下水等环境水的影响。在有地下水分布的湿陷性黄土场地,水位以下的“饱和带”土层往往为饱和黄土;其上“毛细带”土层接近饱和状态;再向上的“非饱和带”土层,在正常条件下含水率较低,具有典型的湿陷性;当环境水以不同状态和途径向土中入渗、在土中升降或从土中蒸发时,将会导致黄土,尤其是“非饱和带”黄土含水率的变化,从

而引起湿陷性的变化。这种变化可称为黄土的“增湿过程”和“减湿过程”。本文将结合西安地区工程实践,探讨“增湿过程”和“减湿过程”对黄土湿陷性的影响,这种影响可称为“增湿效应”和“减湿效应”。^[1]

1 工程实例

1.1 湿陷性黄土的增湿效应

实例 1 西北大学南校区

场地位于长安区郭杜镇南。深度 9 m 以上土层以晚更新世风积黄土为主。2003 年夏、秋雨季,西安地区降水量激增。雨季前后分别进行过整个场地的初勘和其中部分场地的多次详勘。第 1 次于雨季刚开始的 7 月进行;第 2~5 次为不同地段的详勘,都在雨季后进行。土的部分物理力学性质指标平均值见表 1,地基湿陷等级评价见表 2。

实例 2 福安公寓

场地位于西安城北马呼沱村。深度 11 m 以上土层以晚更新世风积黄土为主。在 2003 年夏、秋雨季前后,场地各进行一次勘察。土的部分物理力学性质指标平均值见表 3,黄土湿陷性评价见表 4。

表1 西北大学南校区场地历次勘察中土的部分物理力学性质指标平均值

土类	勘察次第	勘察日期/勘察阶段	天然含水率 $w/\%$	饱和度 $S_r/\%$	液性指数 I_L	压缩系数 $a_{1-2}/(\text{MPa}^{-1})$	压缩模量 E_{s1-2}/MPa	湿陷系数 δ_s	统计频数
黑 垆 土 ②	第1次	2003年7月/初勘	14.0	41	<0	0.21	10.9	0.077	74
	第2次	2004年4月/详勘	19.8	60	0.17	0.38	5.2	0.060	4
	第3次	2004年6月/详勘	18.4	52	0.01	0.55	4.9	0.062	24
	第4次	2004年9月/详勘	17.9	55	0.08	0.17	16.4	0.053	5
	第5次	2005年4月/详勘							
黄 土 ③	第1次	2003年7月/初勘	18.8	50	0.00	0.31	9.5	0.056	402
	第2次	2004年4月/详勘	22.9	60	0.30	0.66	5.2	0.047	59
	第3次	2004年6月/详勘	22.0	57	0.21	0.65	4.9	0.052	132
	第4次	2004年9月/详勘	22.2	57	0.40	0.36	8.6	0.048	31
	第5次	2005年4月/详勘	23.3	56	0.38	0.66	4.4	0.051	24

表2 西北大学南校区历次勘察中的湿陷量的计算值 Δ_s 和地基湿陷等级评价

勘察次第	取样勘探点数	湿陷量的计算值 Δ_s 范围值/mm	具有不同湿陷量计算值 Δ_s 的勘探点数				地基湿陷等级评价
			$\Delta_s > 500$ mm	$500 \text{ mm} > \Delta_s > 400$ mm	$400 \text{ mm} > \Delta_s > 300$ mm	$\Delta_s \leq 300$ mm	
第1次	88	150~754	20	29	24	15	II级为主
第2次	17	106~373			6	11	I~II级
第3次	34	202~418		1	17	16	I~II级
第4次	8	242~398			2	6	I~II级
第5次	6	218~326			3	3	I~II级

注:自重湿陷系数 δ_{zs} 均小于 0.015, 场地属非自重湿陷类型; 湿陷量计算值 Δ_s 统一从地面下 1.5 m 起算。

表3 福安公寓场地两次勘察中土的部分物理力学性质指标平均值

土类	勘察次第、日期	天然含水率 $w/\%$	饱和度 $S_r/\%$	液性指数 I_L	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}
黄土②	第1次 2003/1	18.2	45	0.08	0.53	0.052	0.021
	第2次 2004/1	22.8	58	0.34	0.56	0.037	0.015
黄土③	第1次 2003/1	23.2	64	0.41	0.21	0.019	0.007
	第2次 2004/1	25.6	73	0.51	0.22	0.012	0.006

表4 福安公寓场地两次勘察中的场地湿陷类型和地基湿陷等级评价

勘察次第/勘察日期	取样勘探点数	自重湿陷量的计算值 Δ_{zs}/mm	湿陷量的计算值 Δ_s/mm	场地湿陷类型评价	地基湿陷等级评价
第1次/2003年1月	4	96~130	504~708	自重湿陷	II级
第2次/2004年1月	3	20~75	93~405	非自重湿陷	I~II级

上述二实例表明,在降水量激增的雨季过后,大量入渗雨水使土的含水率和饱和度等明显增大,湿陷系数和自重湿陷系数变小,且往往引起湿陷类型的改变和湿陷等级的降低。

实例3 红华仪器厂11号住宅楼:

场地位于西安城东长乐中路南侧。10 m 以上

土层以晚更新世风积黄土为主。场地主要地段含水率正常,但东段地面低洼,多年积水,土层饱和。两地段物理力学性质指标和湿陷性评价迥然不同:正常地段为自重湿陷类型场地 II 级(严重)湿陷性黄土地基,长期积水地段则转化为不具湿陷性的饱和软黄土地基,见表 5、表 6。

表5 红华仪器厂11号住宅楼场地不同地段土的部分物理力学性质指标平均值

土类	地段	天然含水率 $w/\%$	饱和度 $S_r/\%$	液性指数 I_L	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}
黄土② ₁	正常	19.9	42	0.11	0.69	0.084	0.017
	积水	30.8	79	0.96	0.77	0.004	0.003
黄土② ₂	正常	20.5	51	0.17	0.29	0.076	0.019
	积水	28.9	83	0.74	0.32	0.003	0.002

表6 红华仪器厂11号住宅楼场地不同地段黄土湿陷性的评价

地 段	自重湿陷量的计算值	场地湿陷类型	湿陷量的计算值	地基湿陷等级
正常	$\Delta_{zs}=124\text{ mm}$	自重湿陷	$\Delta_s=822\text{ mm}$	III级(严重)
积水	$\Delta_{zs}=0\text{ mm}$	非自重湿陷	$\Delta_s=0\text{ mm}$	非湿陷性地基

1.2 湿陷性黄土的减湿效应

实例1 陕西彩色显像管总厂一期工程

场地位于西安城区以西20多公里的咸阳市西。9 m以上土层以晚更新世风积黄土为主。初勘与详勘分别于1977年6~8月和1978年11~12月进行。地下水稳定水位初勘时为3~4 m,详勘时为5~6 m,降幅2.0~2.5 m。水位降低原因是初勘后农田灌溉停止,入渗土中水量减少。据试验和测试

成果,详勘时水位下降范围内,深2.0~4.5 m土层的试验指标和黄土湿陷性同初勘相比有明显变化,见表7。初勘时,仅1.5 m深处少量土试样湿陷系数略大于0.015,2 m以下则不具湿陷性;详勘时,湿陷系数大于0.015的土已加深到3.5~4.5 m,且2 m深处湿陷系数甚至高达0.045~0.086。初勘时判定的非湿陷性黄土地基,到详勘时地基湿陷等级已提高到I级。可见,场地黄土减湿效应是明显的。

表7 陕西彩色显像管总厂一期工程初勘与详勘阶段2.0~4.5 m土层部分试验指标的对比

勘察阶段/勘察日期	天然含水率 $w/\%$	饱和度 $S_r/\%$	液性指数 I_L	压缩系数 $a_{1-2}/(\text{MPa}^{-1})$	湿陷系数 δ_s	
					范围值	平均值
初勘/1977年6~8月	24.2	83	0.56	0.32	0.000~0.014	0.010
详勘/1978年11~12月	21.0	76	0.31	0.17	0.001~0.086	0.037

注:场地属非自重湿陷类型场地

实例2 西安东郊

有的场地勘察时查明的黄土含水率高,湿陷等级低。建筑物建成一段时间后,出现了损坏现象。经调查发现,邻近场地的同类地层却普遍含水率低,湿陷等级高。分析认为,是某些人为因素影响造成土的含水率增高,湿陷性减弱或消失,勘察成果恰好按这种既有状况进行了湿陷性评价,设计按规范规定采取了地基处理措施、结构措施和防水措施。但建筑物建成后,环境条件发生了变化,土的含水率降低,湿陷性大幅度地恢复,遇地基浸水,原来的设计措施不能适应这种变化,引起了建筑物的损坏。这种现象在湿陷等级高的黄土梁和高阶地等地段更容易发生。这也说明了黄土减湿效应的存在。

2 增湿效应和减湿效应的分析

2.1 增湿效应和减湿效应的关系

据气象资料,2003年夏秋季西安地区降水量激增是几十年一遇的。当年7月~10月的降水量与一般年份同期相比,无论数量和增幅都显著加大:7月、8月、9月和10月的降水量分别为136.6 mm、163.3 mm、202.6 mm和143.3 mm,增幅分别为41%、119%、103%和124%;连续4个月累计增量为310.8 mm,累计增幅为93%,降水量增加了近1倍,见图1。

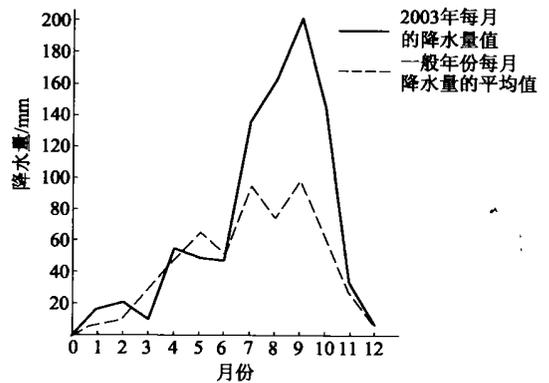


图1 西安地区2003年每月降水量与一般年份每月降水量平均值对比

激增的降水量入渗使地下水位普遍上升。如解放路西、西七路北的丹尼尔保康大厦,同一场地前后曾进行过三次勘察,实测的地下水位高程表明,水位上升幅度达3 m。

丰沛的雨水入渗地下,不仅使水位上升,饱和黄土顶界上移,还引起非饱和带黄土含水率明显增大,湿陷性明显降低。这种增湿效应影响范围广泛,对工程建设影响很大。

引起降水量激增的异常现象过后,气候发展一般会趋于正常,入渗土中的水的补给来源逐渐减少;同时,西安地区属半湿润气候区,年干燥度(即最大

可能蒸发量与降水量之比)略大于1.25,蒸发量总体上大于降水量。只要没有人造因素造成新的水的补给,在正常的气候条件下,总的趋势将转入以减湿作用为主,导致地下水位下降,非饱和带黄土的含水率和饱和度不断减小,湿陷性则不断增强,向增湿前的状态可逆地发展。

当降水量、蒸发量等气候条件改变时,在总的减湿过程中也会出现新的增湿过程,反之亦然。可见,这种增湿过程和减湿过程是互相对立的,又是可逆的、可以互相转化的。当然,如果人类活动改变了水的补给、排泄条件,这种发展进程也可能改变。

2.2 增湿效应和减湿效应对工程建设的影响

增湿效应使得黄土湿陷性减弱或消失,压缩性增大,承载力降低,部分或全部转化为饱和黄土。对于已经建成的建筑物,当地下水位上升到地基主要持力层时,容易产生地基不均匀变形,甚至导致破坏;对于即将建于其上的建筑物,无异于预先准备好了湿陷变形的条件,湿陷性黄土变为饱和黄土;当在同一幢建筑物范围内只有局部地段发生了增湿效应时,饱和黄土与湿陷性黄土并存,形成湿陷性和压缩性都不均匀的地基。

降水量激增形成的增湿黄土,在正常气候条件下,以减湿作为其可逆的发展过程,含水率和饱和度会逐渐减小,湿陷性逐渐恢复。如处理不当,就可能出现事故。

2.3 增湿效应和减湿效应进程影响因素分析

引起黄土增湿效应和减湿效应的,既有自然条件变化的影响,也有人为因素的影响。

2.3.1 气候异常时期降水量的大小及延续时间

超过一定量值的降水量一般都会引起土的增湿效应及其后的减湿效应。显然,降水量越大,持续时间越长,渗入土中的水量就越多,增湿和减湿进程时间就越长;反之亦然。

2.3.2 场地岩土条件和地形条件

包括场地岩土性质、土层结构、渗水条件、场地地面的积水和排水条件等。湿陷性黄土增湿前的含水率和饱和度越低、孔隙比越大、厚度越大时,“储存”的水量就越多,减湿过程就越可能延长;反之亦然。

2.3.3 大面积的地表水入渗

以兴庆湖为例,增湿使地下水位和饱和黄土顶界上升,非饱和带土湿陷性消失或减弱,承载力降低、压缩性增高。只要湖水经常得到补给,增湿过程

就不会向减湿过程转化。

2.3.4 局部地段的地表水入渗

管道、水池或厕所等设施水的渗漏,生产和生活用水的漫溢,低洼地段地表积水等长年累月的入渗,以及农田灌溉水的入渗,往往造成局部地段非饱和带土的增湿效应,黄土湿陷性减弱或消失。当断绝地表水的来源后,增湿过程有可能转化为减湿过程。

此外,建(构)筑物的类型、地基基础类型、地基处理方法及基础施工延续时间等也都会影响到增湿和减湿作用的进程。

3 对增湿效应和减湿效应的评价与处理的建议

岩土工程师应重视湿陷性黄土增湿效应和减湿效应的不利影响,注意分析、预测各种条件的变化,用动态的观点和方法进行黄土湿陷性评价,提出有效的防治措施的建议,确保在规定的使用期限内建(构)筑物的安全。下面提出几点建议,供在实际工作中参考。

3.1 增湿效应和减湿效应的评价

在增湿黄土场地使用勘察、试验成果时,应注意分析有无发生减湿效应的可能性。

在没有可能发生减湿效应的增湿黄土场地,可直接按勘察、试验成果进行评价。当湿陷性黄土已转化为饱和黄土时,可按饱和黄土地基评价;当对还有部分湿陷性的黄土进行评价时,应兼顾湿陷性黄土和饱和黄土的特点。

在有可能发生减湿效应的增湿黄土场地,切忌不作任何分析、原封不动地使用现有勘察、试验成果进行评价。对于饱和黄土或未达到饱和的湿陷性降低的黄土,都应综合分析场地的各种条件,预测黄土湿陷性可能的恢复程度。

为此,可根据地区经验采用类比法,通过比较、分析进行预测;有条件时,对于施工周期长的大型场地,可在减湿过程基本完成的施工阶段,进行一定数量的补充试验,核实湿陷性评价结果;对于重大工程,甚至可考虑按当地增湿过程之前湿陷性黄土的正常含水率制备试样,取得试验数据,作为对减湿过程完成后的黄土湿陷性变化进行预测的依据。

3.2 处理措施的建议

1) 为防止大面积地下水位上升导致的环境条件恶化,在较厚的、湿陷性较强的黄土地区应避免建造新的人工湖。

2) 在可能受到地下水位上升影响的湿陷性黄土

场地,对未消除全部湿陷量的地基,应根据地下水位可能上升的幅度,采取防止增加不均匀沉降的有效措施^[2]。

3) 对于增湿形成的饱和黄土,地基处理可按下列方法进行:“对于湿陷性黄土在近期浸水饱和后土的湿陷性消失并转化为高压缩性的饱和黄土”,在确定地基处理厚度时,“应进行地基变形计算”,“应对基底下压缩层范围内压缩系数 a_{1-2} 大于 0.4 MPa^{-1} 或压缩模量小于 6 MPa 的土层进行处理”^[3]。显然,这样的处理结果,既可提高土的承载力,降低土的压缩性,又可消除或基本消除可能恢复的湿陷性,取得一举两得的效果。

4) 对因增湿效应造成的湿陷类型和湿陷等级降低的黄土,当预测其湿陷性有可能部分或全部恢复时,应按对湿陷性黄土的要求进行地基处理。

5) 对于同一场地或同一建筑物范围内因局部地段地表水入渗造成的饱和黄土与湿陷性黄土并存、压缩性与湿陷性都不均匀的现象,应先断绝水的来源,再进行处理。鉴于土的性质差异难以在短时间内消除,宜针对不同性质土层采取不同处理措施。

6) 采用桩基础时,承台与桩端之间的桩侧土大部分不会变形,基本上保持原有结构。当有可能发生减湿效应时,桩侧土的湿陷性或自重湿陷性也有可能部分或全部恢复。应根据对湿陷性恢复程度的预测,提出桩侧阻力按饱和状态正侧阻力或负摩擦

力^[2]取值的建议。

4 结 论

1) 湿陷性黄土的湿陷性不是一成不变的。在诸多影响黄土湿陷性变化的因素中,环境水起着重要的作用。其中气候异常年份降水量激增的影响尤为显著。

2) 环境水的变化引起湿陷性黄土中含水率的变化,从而引发土的增湿效应和减湿效应。增湿效应使黄土的湿陷性减弱或消失,并转化为高压缩性;减湿效应则使黄土的湿陷性向着增湿前的状态恢复。这已由西安地区一些工程实践所证实。

3) 应根据当地气候条件、场地岩土条件、水文地质条件、建筑施工进程、建筑设计措施(包括地基处理方法)及人类活动等诸多因素进行综合分析,用动态的观点和方法对增湿效应和减湿效应进行评价和预测,提出防治措施的建议。

4) 研究黄土的增湿效应和减湿效应具有重要的实际工程意义。本文是根据西安地区部分工程经验总结出来的,有待于积累更多的资料,进行系统的研究。

参 考 文 献

- [1] 郑晏武. 中国黄土的湿陷性 [M]. 北京: 地质出版社, 1982: 168-172.
- [2] GB 50025—2004 湿陷性黄土地区建筑规范 [S].
- [3] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范 [S].

收稿日期: 2006-04-20

(上接第 202 页)

数,对岩土工程中常遇到的地下连续墙和挡土墙进行了结构模糊可靠度计算分析,结果表明:

1) 三种隶属函数中,采用降半梯形隶属函数计算所得的结果与采用二次抛物线分布和采用岭形分布相比,计算所得的结构模糊可靠度偏低,即计算结果偏于保守。

2) 采用二次抛物线分布和采用岭形分布所得结果差别很小。

3) 根据《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)中关于结构承载力极限状态可靠指标规定,结合本文的分析结果,建议工程中结构安全等级为二级时采用降半梯形分布,结构安全等级为一级时采用二次抛物线分布或梯形分布形式。

参 考 文 献

- [1] 赵国藩. 工程结构可靠性理论与应用 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1996: 232-250.
- [2] 谭东耀, 王光远. 结构随机模糊优化的广义可靠度法 [J]. 哈尔滨建筑工程学院学报, 1989, 22 (2): 15-26.
- [3] 谭德远. 建筑基坑支护结构稳定性的概率与模糊概率分析 [J]. 中外建筑, 2000 (6): 67-69.
- [4] 李胡生. 岩土参数随机—模糊统计中的隶属函数形式 [J]. 同济大学学报, 1993, 21 (3): 316-369.
- [5] 李安贵, 张志宏, 段凤英. 模糊数学及其应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 145-173.
- [6] 刘大鹏. 土力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 194-195.

收稿日期: 2006-04-21