

岩土力学·地震工程·水库地震

(论文集)

常宝琦 编著

华南理工大学出版社

岩土力学·地震工程·水库地震

(论文集)

常宝琦 编著

华南理工大学出版社
· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

岩土力学·地震工程·水库地震(论文集)/常宝琦编著. —广州:华南理工大学出版社,
1995. 11
ISBN 7-5623-946-9

I. 岩…

Ⅱ. 常…

Ⅲ. ①岩土力学-文集②水库-诱发地震-文集③地震工程-文集

Ⅳ. ①P315.9-53②TU4-53

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮码 510641)

责任编辑 潘宜玲

华南理工大学印刷厂印装

1995年10月第1版 1995年10月第1次印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18.25 字数 155千

印数:1—1100册

定价:20.00元

前 言

本文集汇集了本人可供发表的论文 34 篇,其中多数已在国内外公开发表。文集的论文涉及的学科包含岩土力学、地震工程和水库诱发地震。现将部分论文简介如下。

《黄土湿陷性研究》是 1956 年制订的 12 年科学发展纲要中“黄土基本性质研究”的一项内容。文中详细研究了黄土湿陷性规律和预估方法。建筑物的地基通常是非均质的,已有固结理论都是对均质土的,《非均质地基的单维固结理论》用地基土压缩模量沿深度呈指数变化,推导出非均质一维固结理论。过去研究水库地震成因时把水库的诱震作用分成“荷载作用”和“孔隙水压作用”,《多孔介质中应力-孔隙压理论在新丰江水库地震中的应用》,用两种作用的耦联效应研究了广东省新丰江水库地震的形成机制。如果应用上篇文章的半耦联理论,可解决土力学中的固结问题,完全解耦可研究水文地质学中的地下水流问题。

第二部分主要是关于已建或待建的土工构筑物(土坝和土堤)的地震工程问题。土工构筑物量大面广,如在广东,光大中型水库的土坝就达 300 余座,珠江流域的河堤达数百公里,因此对已建工程的抗震能力校核、待建工程的震害预测都是减轻这类工程的直接或间接震害所必须的。这些文章介绍了单体工程和群体工程的确定性校核方法和概率预测方法。

第三部分是关于水库诱发地震的预测方法和一些工程应用的成果。世界上已发生诱震的水库比例虽不大,但确也发生了几起 6 级以上强震的震例,因此水库地震构成了水工建筑物抗震设防的重要内容之一。水库地震的预测包含诱震危险性(可能性)的预测、最大震级的预测和可能发展地点的估计。显然,第一方面的预测是关键性的,也是水库地震预测的最基本内容。在广泛收集国内外上百个震例的基础上,提出了水库地震危险性预测的概率法和两级综合模糊评判方法,并详细研究了概率方法的临界概率;最大震级的预测是直接影响水工建筑物对水库地震设防的重要参数,有关论文也是被科研设计人员引用率最高、讨论也最多的方面,包括待建的长江三峡水库和南水北调起点工程——湖北丹江口水库的诱发地震危险性、最大震级的估计,都曾被有关单位引用过本文集的有关方法。

应当特别加以说明的是,由于受篇幅所限,本文集略去了各篇文章的参考文献,敬请被引用文献的作者们谅解。本文集的出版得到了广东省地震局水库地震研究室、地方地震工作处、地震工程勘测中心及丁原章教授等的资助,广东省地震局计划处陈仁法副处长以及江秋云、黄一川同志对文集的出版给予了很多帮助,特此一并鸣谢。

作 者

1995 年 10 月

目 录

第一篇 岩土力学

黄土湿陷性的初步研究.....	3
具有变压缩模量土层的单维固结问题	18
强度非均质边坡稳定性分析	28
岩土工程的可靠度分析	32
广州沙河顶统建楼地震沉陷分析	40
弹性多孔介质中应力-孔隙压耦联理论在新丰江水库地震研究中的应用	44
多用途的平面有限元程序的理论基础及其在水库地震中的应用	51
饱和粘性土动力参数的估计	56

第二篇 地震工程

关于核电站的设计地震输入	63
已建成土坝的抗震能力复核	71
Engineering Seismic Countermeasure of Gaozhou Reservoir	82
关于一般建筑物抗震设防标准问题	96
砂土液化判别问题.....	102
广东省大中型水库土坝的地震危害性的初步评估.....	109
广东省汤溪水库大坝抗震稳定性分析.....	114
珠江三角洲土坝和堤围震害初步预测.....	122
土坝的地震易损性和震害速评.....	128
Zonation of Seismic Risk of the Nanbel Embankment of the Hanjiang River, Chaozhou	138

第三篇 水库地震

水库诱发地震的预测.....	149
水库诱发地震的对策.....	161
A Fuzzy Predictive Model of Reservoir Induced Seismicity	169
对白盆珠水库诱震危险性的初步预测.....	177
水库“规模”与水库地震震级的关系.....	185
Investigation on Inducing Earthquake Risk by Longtan Reservoir	189

水库诱发的地震预测的两个数学模式.....	205
关于水库诱发地震概率预测的临界概率 P_c	217
关于水库诱发地震的仪器观测.....	221
对“论水库要素与水库地震的关系”的讨论.....	234
Preliminary Study on the Prediction of Reservoir Earthquakes	236
The Srinakarin Reservoir Earthquake, Thailand	254
水库诱发地震最大震级的预测.....	266
东江水库地震问题讨论.....	271
对“水库地震震级预测的回归模型”一文中两个问题的答复.....	279
水库地震震级预测的讨论.....	281

第一篇 岩土力学

黄土湿陷性的初步研究*

一、引言

我国广布着黄土,而主要分布在西北,其次为华北平原及东北的南部地区。

在祖国大力开展社会主义经济建设的今天,对于黄土进行研究的意义是不容置疑的。

黄土很重要的一个特性是具有遇水产生附加下沉的性质,通常称之为湿陷,处理不当将会给建筑物带来严重后果,甚至会毁坏建筑物及其他设施。

黄土的大规模研究工作首先是在前苏联进行的。很多前苏联科学家和工程师,对黄土的成因以至其工程性质都做了精湛的研究,取得很多有价值的成果,对于开展我国的黄土研究有很大的指导意义。

在国内也有很多单位做了大量研究工作,得到了不少有价值的结果,这里就不一一赘述,容后面引用。

我们在研究黄土的湿陷性方面也做了些工作,主要是针对不同含水量对湿陷的影响问题,并力图说明产生湿陷的原因。

应当指出,尽管黄土及黄土类土或大或小均有着遇水附加下沉的性质,但它与具体的地史、地貌有着密切的关系。因此在分析遇水附加下沉性时,不能仅仅依靠由实验室所得到的为数很少的物理、化学及力学方面的资料,往往因为资料适应范围的局限性会得出谬误的结论。因为土的任何性质均与其成因有关,从而研究黄土的成因对于解决其附加下沉性有着重要意义。截至目前为止,黄土成因问题尚未定论,因此只能根据我们所研究兰州黄土的具体资料来分析,而不能包括所有类型的黄土。

二、不同含水量时的湿陷性问题

(一)不同含水量分布的可能性

黄土中水分的增长,可能由于大气降水、建筑物上、下水道漏水等等。由于黄土天然含水量很低,并具有多孔性,故很难使土层充分饱和,而且水分向四面分布,故渗流范围在时间与深度上不是均匀的,而是顺渗流方向递减(见图1),从而研究黄土在不同含水量时的湿陷性就成为有必要的了。反之,如果不考虑不同含水量在分布上的可能性,而全部以饱和对待则

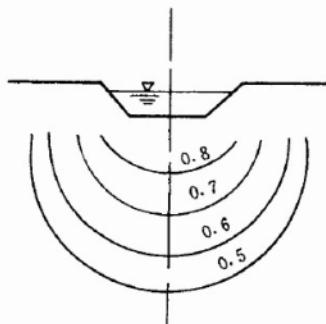


图1 饱和度等势线图

* HLITs 137—56 中的相对湿度量一词,为习惯起见,均称为湿陷系数。

势必会造成无谓的浪费,同时不同含水量的附加下沉的研究对解释黄土的湿陷性也是有益处的。

(二)试验方法

我们的压缩试验仪采用了浮圈式,这样可以减少侧壁摩擦的影响。

图2至图9中的湿陷系数 δ_n ,与大孔土规范 HJITV137—56 中的相对沉降值有些差别,因为我们是把不同含水量时的沉降与原土高之比作为湿陷系数的。

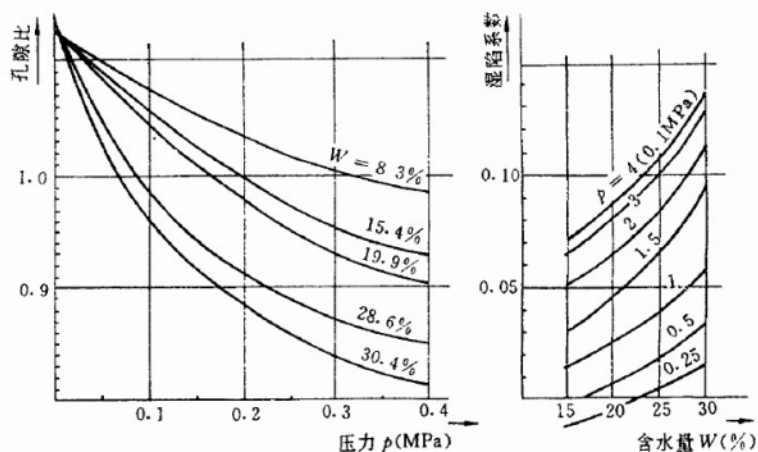


图2

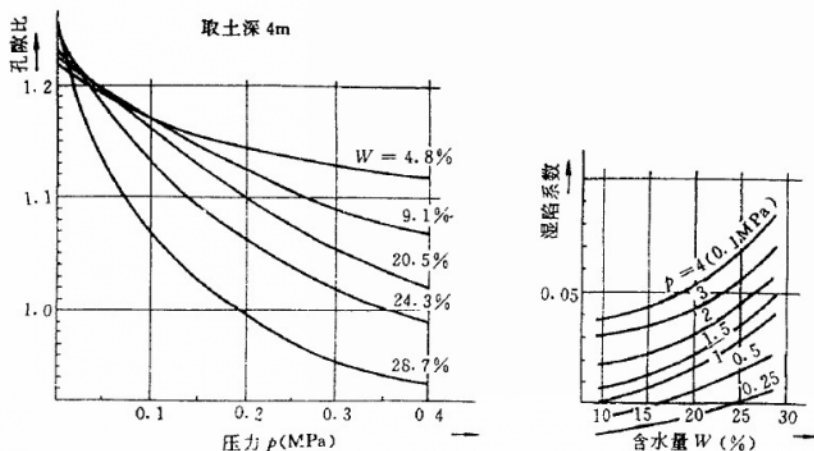


图3

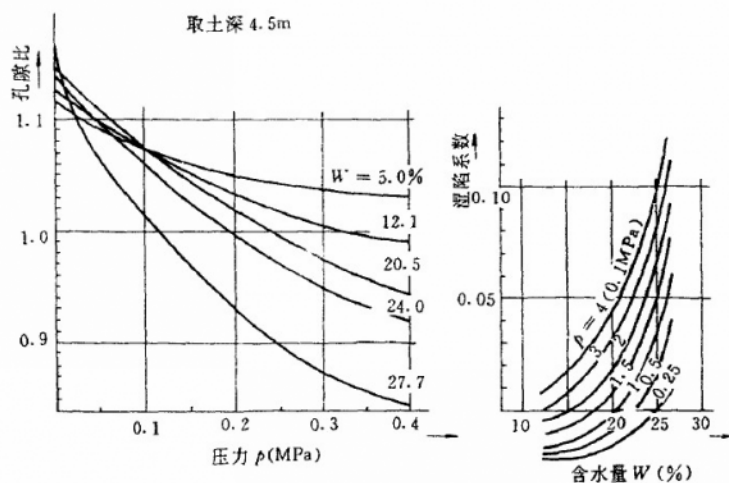


图 4

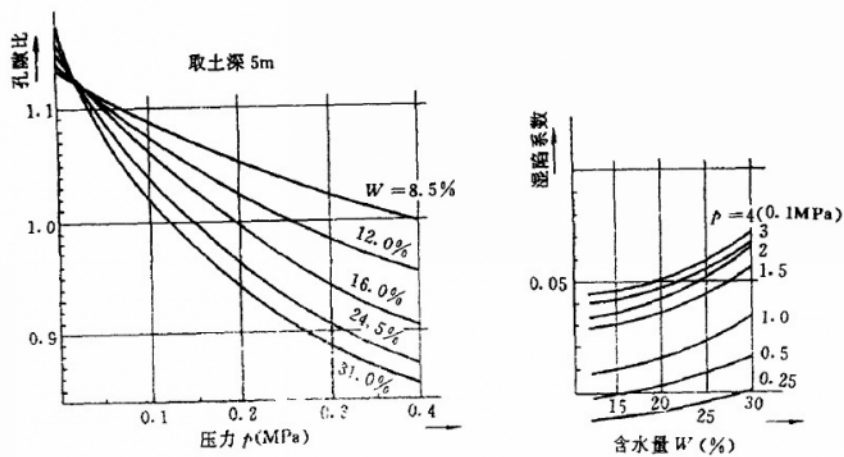


图 5

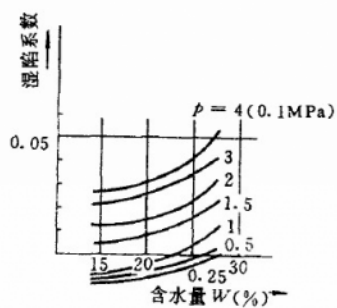
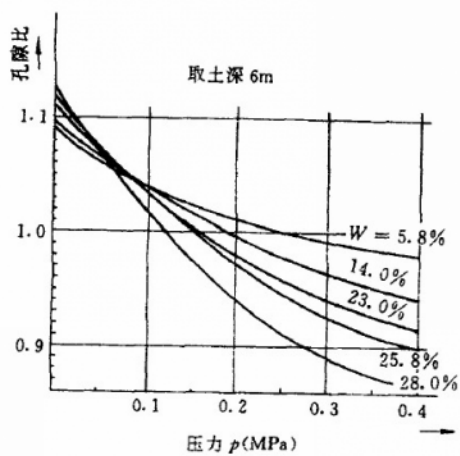


图 6

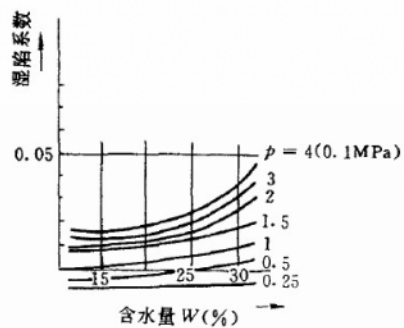
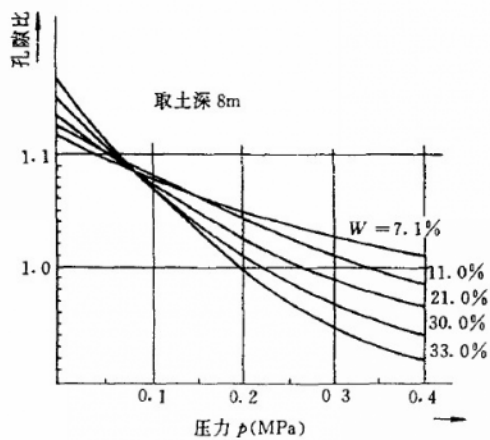


图 7

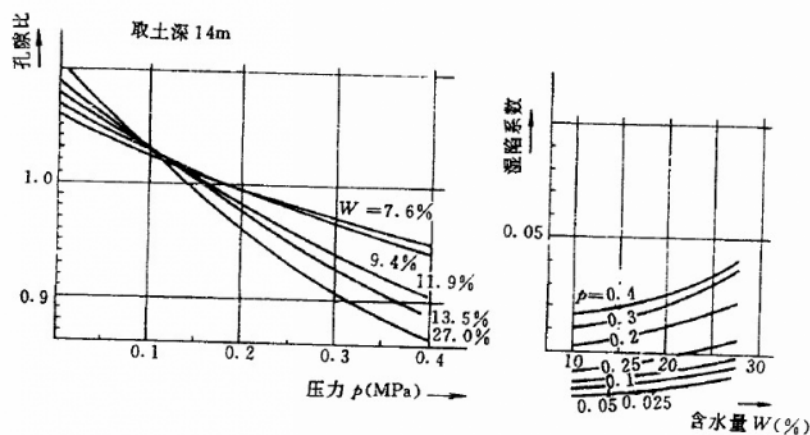
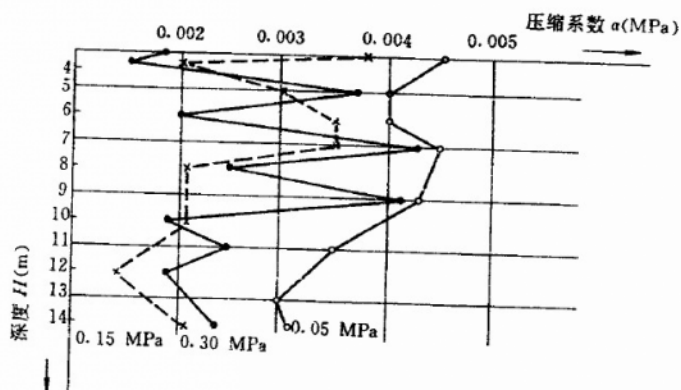
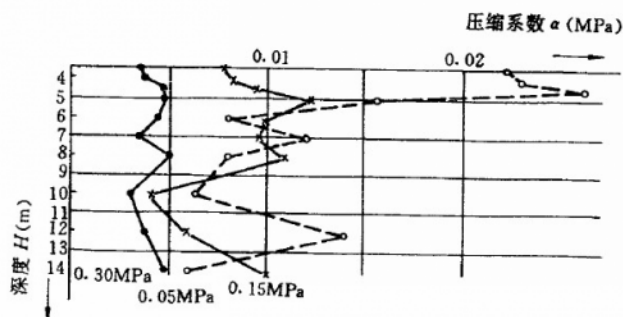


图 8



a) 天然情况



b) 饱水情况

图 9 压缩系数与深度的关系

表 1

深度 (m)	离子含量						
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
3.5	0.0048	0.0013	0.0004	0.0122	0.0067	0.0400	0.0030
4.0	0.0184	0.0040	0.0010	0.0172	0.0077	0.0212	0.0004
4.5	0.0250	0.0063	0.0042	0.0452	0.0489	0.0428	0.0003
5.0	0.0385	0.0113	0.0009	0.0084	0.1044	0.0239	0.0003
5.5	0.0905	0.0088	0.0012	0.0318	0.2569	0.0176	0.0004
6.0	0.0268	0.0071	0.0027	0.0328	0.0808	0.0273	0.0002
6.5	0.1040	0.0142	0.0016	0.0612	0.3070	0.0190	0.0004
7.0	0.1512	0.0160	0.0050	0.0629	0.4096	0.0194	0.0020
7.5	0.0491	0.0089	0.0023	0.0275	0.1509	0.0141	0.0007
8.0	0.0263	0.0067	0.0030	0.0573	0.0925	0.0222	0.0003
10.0	0.1210	0.0117	0.0011	0.0870	0.3717	0.0152	0.0008
12.0	0.0310	0.0048	0.0009	0.0321	0.0439	0.0291	0.0003
14.0	0.0422	0.0232	0.0047	0.0567	0.1880	0.0222	0.0010

深度 (m)	含水量 W ₀	隙比 e ₀	颗粒分析(%)					
			> 0.10	0.10 ~ 0.05	0.05 ~ 0.01	0.01 ~ 0.005	0.005 ~ 0.002	< 0.002
3.5	8.3	1.13	0.1	6.5	65.4	7.0	4.1	16.9
4.0	4.8	1.22	0.1	15.4	57.8	6.3	4.7	15.7
4.5	5.0	1.12	0.2	7.0	67.0	6.8	3.9	15.1
5.0	8.5	1.13	0.2	15.8	56.8	7.7	6.2	13.3
5.5	—	—	0.2	12.8	63.2	5.2	4.4	14.2
6.0	5.8	1.09	0.3	5.6	64.8	8.5	4.7	16.1
6.5	—	—	0.2	10.6	62.6	6.8	3.3	16.5
7.0	6.6	1.13	0.2	17.8	57.4	5.7	1.8	17.1
7.5	—	—	0.2	11.5	59.6	5.7	4.2	18.8
8.0	7.1	1.12	0.2	11.3	61.6	3.6	1.8	21.5
10.0	9.4	0.94	0.2	10.3	60.5	6.1	3.5	19.4
12.0	6.9	1.02	0.2	7.2	63.6	7.3	2.7	19.0
14.0	7.6	1.06	0.2	8.5	68.1	4.6	3.7	14.9

(三)试验结果

这里只把几个试验结果的规律写出,在第三节中再进行分析。

(1) 一般随深度的增加 δ_{np} 值减少。因为随深度增加,土有变密实和初始含水量有增加的倾向。

(2) 在同一条件下,荷重越大 δ_{np} 也越大,从而用 0.3MPa 的压力作为评价湿陷的标准是有商讨余地的。虽然在前苏联根据很多资料证明 $\delta_{np(max)}$ 多出现在 0.3MPa 的压力下,但我们没有得到与其相符的结果,且工业及民用建筑物的底压力多小于此值,而水工建筑物多大于此值,一概以 0.3MPa 作为评价湿陷量的标准是不可靠的。

(3) 在天然状态时(见图 9a),在同一荷重下压缩系数沿深度略有减小的趋势,而在同一深度时中级荷重(0.1~0.2MPa)压缩系数最小,说明此荷重近于土在土体内的自重压力,但在浸湿以后则改变了土性,结构强度遭到了破坏,降低了土的抗压缩性能,故随着压力的加大,压缩系数降低(见图 9b)。

(4) 从 $\varepsilon \sim p$ 曲线中可看出,天然状态或增湿的土样均为凹下形式,证明其砂性土,原始结构强度小,从而无论增湿量或大或小,均有较大的附加下沉,说明我们所研究的黄土的强度受含水量影响而降低的显著变化点出现得很早。根据前苏联学者的研究,这个显著变化点应在塑限附近,而我们试验的误差是因为当增湿土样时产生了膨胀,降低了密度。

(四)不同含水量时的湿陷评价法

黄土饱和时湿陷量的计算是根据前苏联大孔土规范 HMTY137—56 第 115 条公式进行的。

$$\Delta = \sum_h^{H_0} \delta'_{pi} h_i$$

式中 δ'_{pi} ——所研究土层的任一层在上层自重压力和附加压力作用下的相对湿陷;

h_i ——该土层的厚度;

H_0 ——基础底面下沉陷性大孔土层的总厚度;

h ——从设计标高算起的基础埋置深度。

未饱和时的湿陷量计算公式亦可以采取同一形式:

$$\Delta' = \sum_h^{H_0} \delta_{iw} h_i$$

式中 δ_{iw} ——在某含水量时在自重压力和附加压力作用下的相对湿陷。

现将我们试验的各个深度的 $\delta_{iw} \sim W$ 关系写明如下:

深度(m)	$\delta_{iw} \sim W$ 关系式
3.5	$\delta_{iw} = 0.064 + 1.06 \times 10^{-4}W + 0.083 \times 10^{-4}W^2 - 1.06 \times 10^{-5}W^3$
4.0	$\delta_{iw} = 0.03 + 0.2 \times 10^{-4}W - 1.3 \times 10^{-5}W^2 + 0.9 \times 10^{-5}W^3$
4.5	$\delta_{iw} = 10^{-3} + 0.9 \times 10^{-5}W - 0.88 \times 10^{-5}W^2 + 0.8 \times 10^{-5}W^3$
5.0	$\delta_{iw} = 10^{-3} + 5.36 \times 10^{-5}W - 1.2 \times 10^{-5}W^2 + 0.64 \times 10^{-5}W^3$
6.0	$\delta_{iw} = 0.02 + 0.5 \times 10^{-5}W + 0.75 \times 10^{-5}W^2$
8.0	$\delta_{iw} = 0.012 + 0.8 \times 10^{-5}W + 1.32 \times 10^{-5}W^2 - 0.28 \times 10^{-5}W^3$
14.0	$\delta_{iw} = 10^{-2} + 0.8 \times 10^{-5}W + 0.2 \times 10^{-5}W^2$

应当说明,我们上面所列出的公式是在 0.3MPa 压力下,根据有限个试验点较为准确地连出的曲线用差分法得到的。当然,如果在计算湿陷量时不采用 0.3MPa 的压力作为标准,则可以根据实际情况另行计算。

三、黄土的物理化学性质对湿陷性的影响

(一)颗粒组成和结构性的影响

如图 12 所示,当土样受压后产生了剪变角 γ 证明,在土颗粒排列的规律性和颗粒间粒间受有剪应力。同时由我们所测得的小于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒其天然过程都是颗粒表面现象的反映,而决定表面现象程度的颗粒表面积与颗粒粒径有关,从而包括在物理力学现象之内的湿陷性质,必然与颗粒的组成有关。

此外,黄土的结构可分为构造和粘聚性两部分。前者纯属几何特征,表明颗粒相互排列的关系及紧密程度;后者是土的各相间的作用对颗粒位移的阻力。湿陷既然是变形的一种形式,必然也与黄土的结构有着密切关系。

在我们所研究的土层中,颗粒级配如表 2。

表 2

粒级(mm)	>0.10	0.10~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.002	<0.002
所占百分数范围	0.1~0.3	5.6~15.8	56.8~68.1	3.6~7.7	1.8~6.2	13.3~21.5

主要粒级为 0.05~0.005mm,点 60.4%~75.8%,证明了具有粉状性,所以碳酸盐类的胶结物与粘土质胶结物在饱水状态下在粉状颗粒间的接触是不强的,从而给附加下沉创造了条件,加上粉状土粒在图 10 所示的黄土的示意构造条件下必然会在位移过程中呈现流动性。

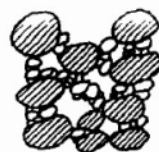


图 10 黄土构造示意图

黄土的构造如图 10 所示,即粉土颗粒为胶质颗粒或胶结物质所联结,而其竖向排列较横向为密(见图 11 所示的竖向(↑)与横向(→)的膨胀量),因为膨胀量与颗粒排列密度有直接的关系。也可以从竖、横向透水和文献中的竖、横向收缩的试验结果得到证明。

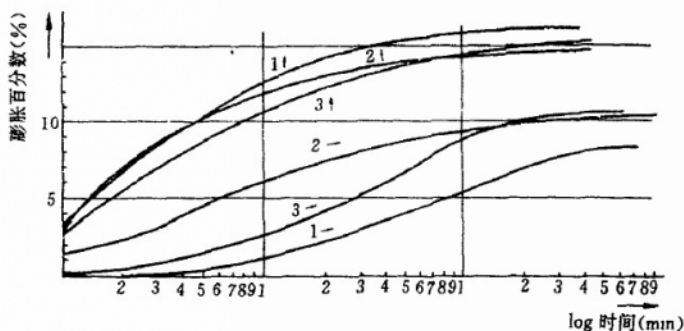


图 11 黄土竖、横向膨胀量关系

如图 12 所示,当土样受压后产生了剪变角 γ 证明,在土颗粒间受有剪应力。同时由我们所测得的小于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒其天然含水量近于其塑限,因此这些包围粉状土粒的小颗粒在剪应力作用下是可揉的,使得粉土颗粒在剪应力作用下必然呈流动性,以填充空隙。

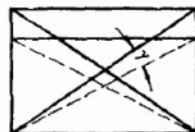


图 12

此外,密实度也是影响湿陷性质的一个重要的指标,如对照图 17 和表 1 可发现深 10m 的土层孔隙比较小,为 0.94,所以其湿陷量也较小。

为了取消其他复杂影响因素来研究密实度的影响,我们用扰动重塑土样研究了黄土在不同荷重时孔隙比 e_0 , 天然含水量 W 和湿陷系数 δ_{wp} 之间的关系。实验中的两个结果如图 13、图 14。

试验证明,原始含水量越高则浸湿后的附加下沉越小,因为当含水量越高时则水膜再行楔入的效果越低。在我们的试验里还可以看到这样一个现象,即在同一压力同一含水量时,孔隙比越大湿陷系数 δ_{wp} 越大,且有一个明显的转折点,即当土的孔隙比小于转折点处的孔隙比时,会大大减少湿陷性,这点对于控制填土施工质量来说是有作用的。

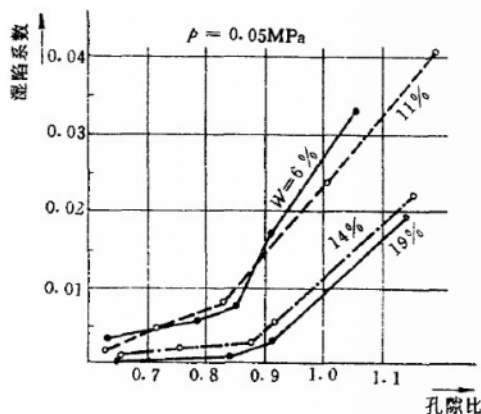


图 13

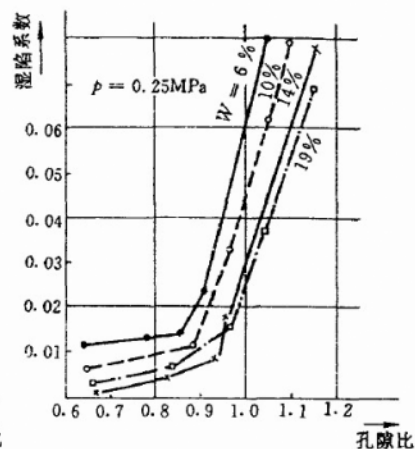


图 14

(二)矿物成分的影响

表 3 是我们对试验土样的土化学分析结果,表明 SiO_2 沿深度含量均很大,但变化不大,倍半氧化物在 3.5~6m 范围内略有减少,继而有些增加,在 10m 左右又减少。倍半氧化物的这种变化主要是由 Al_2O_3 的变化引起的,正如一般土质学中所指出的那样, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 的比值对土壤的稳定性有所影响,如文献中指出,1~0.54 μm 和小于 0.22 μm 的粒组中 R_2O_3 的含量分别为 20%~32%和 29%~33%,即越小的粒组中 R_2O_3 含量越大,也就是说,倍半氧化物越大,则土内含有越多的小粒组。同时,从甘肃岷县地区的土样所得到的关于小于 5 μm 的粒组含量与湿陷系数的关系(图 15)中可看出,一般小于 5 μm 的含量越大,则湿陷系数越大,从而可以间接地看出倍半氧化物含量对湿陷性的影响。

在可溶盐类的含量方面(结果见表 1),从图 16 可以看出 SO_4^{--} 和 Ca^{++} 的分布曲线有着同一形式。这证明 Ca^{++} 主要是和 SO_4^{--} 结合成为 CaSO_4 , CaCO_3 变化不大,均在 13%~15%之间,其他阳、阴离子含量很少,故证明可溶盐属于硫酸盐类型。由于 Ca^{++} 的含量较大,致使粘土部分发生紧密的团聚作用,湿陷性减少。如对照图 16 和图 17 可看出,在 7m 和 10m 处 Ca^{++} 和 SO_4^{--} 都是突然增大的地方,恰恰该两处的湿陷系数也减少就说明了这一点。

应当说明,可溶性盐类当水浸入时,还有另一种作用,即能引起粘土胶质的胶体化学变化,发生离子交换以及成分的改变,因而削弱了粘土质胶粒在粉砂颗粒间联结。同时胶质受