

文章编号:1673-2049(2006)03-0041-04

黄土湿陷性试验研究

王 佳,白晓红,王 梅,杨 晶

(太原理工大学 建筑与土木工程学院,山西 太原 030024)

摘要:为防止在湿陷性黄土地区实施建设项目时发生失稳事故,保证工程设计和施工的安全可靠性、经济合理性,根据湿陷性黄土的特点和工程要求,对西安 Q_3 黄土进行了双线法压缩试验及湿陷性评价,得到了土样的湿陷系数以及湿陷起始压应力等相关参数。通过比较、分析不同深度黄土的湿陷系数、湿陷起始压应力、湿陷峰值压应力,以及有关不同深度值的讨论,分析了西安 Q_3 黄土的湿陷特性,从而为当地湿陷性黄土地基处理提供了重要依据。

关键词:黄土;湿陷性;压缩试验;湿陷起始压应力

中图分类号:TU444 **文献标志码:**A

Study of Collapsibility Test on Loess

WANG Jia, BAI Xiao-hong, WANG Mei, YANG Jing

(School of Architecture and Civil Engineering, Taiyuan University of Technology,
Taiyuan 030024, Shanxi, China)

Abstract: In the construction projects in the areas of collapsible loess, in order to prevent the unstable foundation accidents, and ensure the safety and thrifty of the project design and implementation, the loess collapsibility evaluation is necessary based on the features of the loess and the requirements of the project. Some correlated coefficients, such as the collapsible coefficients and the initial collapse pressure of the soil samples were obtained through the double-method specimen compression test on Q_3 loess of Xi'an and its collapsible characteristic was analyzed through the comparison of the collapsible coefficients, the initial collapse pressures as well as the peak value pressures of the loess in various depths, and the discussions of different depths, which provided significant basis for the soil treatment of the local collapsible loess.

Key words: loess; collapsibility; compression test; initial collapse pressure

0 引 言

天然黄土在一定压应力下充分浸水后,其结构迅速破坏而发生显著附加下沉的现象称为湿陷。湿陷是黄土区别于其他类土的一个非常重要的特性,它受黄土的微结构、物质成分、孔隙比、含水量、压应力等方面的影响。通常用湿陷系数、湿陷起始压应力和湿陷起始含水量反映黄土的湿陷变形特征^[1]。

在湿陷性黄土地区进行建设项目时,为防止地基失稳事故的发生,安全可靠、经济合理地进行工程设计、施工,必须根据湿陷性黄土的特点和工程要求,进行黄土的湿陷性评价。笔者通过对陕西省西安纺织厂两处试验点所取土样进行的室内双线法压缩试验,分析了同一场地不同深度黄土湿陷性的变化情况,并对黄土湿陷起始压应力的确定以及湿陷系数与固结压应力的关系作了初步分析。

收稿日期:2006-05-01

基金项目:国家自然科学基金项目(50478096)

作者简介:王 佳(1980-),男,山西太原人,工学硕士研究生,E-mail:kingbest1007@eyou.com。

1 试验方法

本次试验的试样取自于西安纺织厂内两处试验点,分别称为1[#]探井和2[#]探井。相对于地面高程,1[#]探井从3.75、5.75、7.75、9.75、11.75 m分别取土样;2[#]探井从4.00、6.00、8.00、10.00、12.00 m分别取土样。室内固结试验采用的仪器是江苏省南

京土壤仪器厂生产的WG型单杠杆固结仪。对原始状态下不同深度的两组土样分别进行压缩试验。试验采用的是双线法,加荷等级为25、50、100、200、300、400、600、800、1 200 kPa,土样在加荷50 kPa稳定后浸水,通过固结试验得到土样的湿陷系数以及湿陷起始压应力等相关参数^[2]。不同深度土样物理性质见表1。

表1 土样物理性质

Tab. 1 Physical Properties of Soil Samples

野外试验点 土样编号	取土深度 H/m	含水量 w/%	重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	干重度 γ_d / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	密度 G_s / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙比 值 e_0	孔隙率 n /%	饱和度 S_r /%	液限 W_L /%	塑限 W_P /%	塑性指数 I_P	液性指数 I_L	
1 [#] 探井	1-1	3.75	18.50	1.59	1.34	2.71	1.01	50.2	50.1	38	15	23	15.2
	1-2	5.75	20.30	1.49	1.16	2.71	1.19	54.3	42.3	30	19	11	11.8
	1-3	7.75	19.20	1.64	1.38	2.71	0.97	49.2	52.0	32	17	15	14.7
	1-4	9.75	20.04	1.54	1.28	2.71	1.11	52.6	45.2	34	18	16	12.5
	1-5	11.75	23.56	1.70	1.38	2.71	0.97	49.2	64.0	33	20	13	27.7
2 [#] 探井	2-1	4.00	18.40	1.60	1.35	2.71	1.01	50.2	50.0	35	15	21	16.2
	2-2	6.00	21.30	1.57	1.29	2.71	1.09	52.2	52.5	27	19	8	28.8
	2-3	8.00	23.56	1.57	1.27	2.71	1.13	53.1	58.1	33	19	14	32.9
	2-4	10.00	19.64	1.57	1.31	2.71	1.07	51.7	53.1	28	12	16	22.5
	2-5	12.00	23.54	1.61	1.30	2.71	1.08	51.9	57.9	38	17	21	31.0

2 试验结果分析

2.1 不同深度下 P - S 曲线

从图1、2中可以看出:①不同深度土样的 P - S 曲线表现出同一特点,在初始阶段,随着压应力 P 的增大,土样压缩量 S 变化比较大;当压应力增大到一定程度后,随着压应力的增大,土样压缩量变化

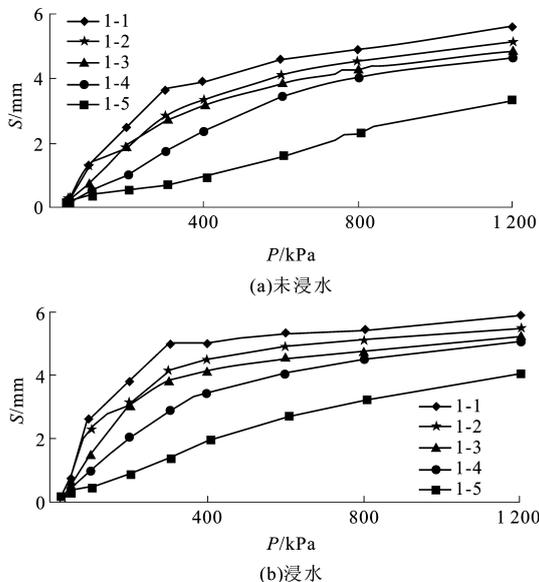


图1 1[#]探井土样的 P - S 曲线

Fig. 1 P and S Curves of Soil Samples in Tentative Pit 1

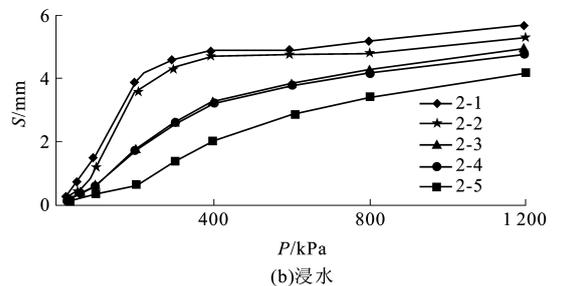
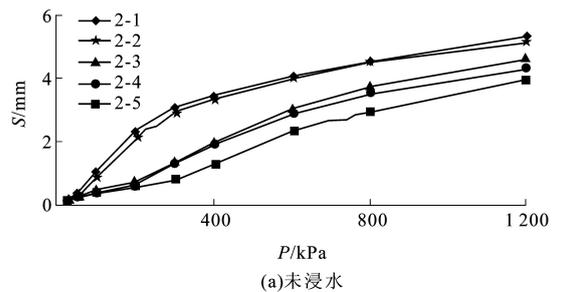


图2 2[#]探井土样的 P - S 曲线

Fig. 2 P and S Curves of Soil Samples in Tentative Pit 2

减小, P - S 曲线都趋于平缓,其中浸水曲线的表现更显著。②在相同荷载作用下,湿陷性黄土的压缩量随着深度的增加而减小,尤其是最深处的黄土,其压缩量明显减小;对于浸水后的土样,也表现出这一特征。

2.2 不同深度下 P - δ_s 曲线

从图3中可以看出:①不同深度土样的 P - δ_s 曲线都表现出同一特点,即在开始阶段,随着压应力 P

的增大,湿陷系数 δ_s 也随之快速增大;当压应力达到某一值后,随着压应力的增加,湿陷系数反而减小。②随着深度的增加,土样的湿陷能力逐渐减小,达到湿陷峰值的压应力逐渐提高,表现为 δ_{smax} 随深度的增加逐渐减小;同时曲线随深度的增加逐渐右移。

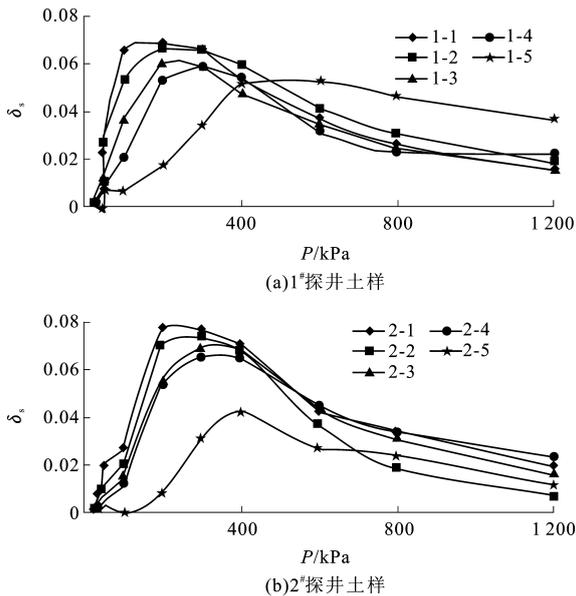


图3 不同深度下土样的 $P-\delta_s$ 曲线

Fig. 3 P and δ_s Curves of Soil Samples Under Different Depths

2.3 湿陷系数与压应力的关系

湿陷起始压应力是反映黄土湿陷性的一个重要指标,并可在双线法湿陷试验所得的 $P-\delta_s$ 曲线上求出。根据中国《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025-2004)和目前学术界、工程界比较一致的观点,湿陷起始压应力是湿陷性黄土在浸水饱和和条件下变形达到 $\delta_s=0.015$ 时所需的最小压应力值。以2#探井中2-2土样的 $P-\delta_s$ 曲线为例(图3),随着压应力的增大,湿陷系数值先增大后又逐渐减小,因此对应于 $\delta_s=0.015$ 就有两个压应力值。笔者取其中的最小压应力值,即75 kPa作为该深度湿陷性黄土的湿陷起始压应力。

在进行黄土湿陷性试验及分析试验结果时,发现同一土样湿陷系数在一定压应力值内随压应力的增大而增大,而当压应力超过一定值后又随压应力的增大而减小。在低压应力下黄土具有湿陷性,而当压应力增大到一定程度又不具有湿陷性,因此可以认为湿陷系数并不是随压应力增加而单调增大的^[3]。

从图4中可以比较明显地看出黄土湿陷系数与压应力之间的关系:在开始阶段,随着压应力增大,湿陷系数也随之增大;当湿陷系数增大到 $\delta_s=0.015$

时(图4中a点),所对应的压应力即为所定义的湿陷起始压应力 P_{sh} ,此点可以认为是黄土湿陷的开始;当压应力增至某一值时,湿陷系数达到最大值,即峰值 δ_{smax} (图4中b点),此时的压应力可定义为湿陷峰值压应力 P_{fz} ,即黄土的湿陷势达到了最大;随后湿陷系数随压应力的增加而逐渐减小,当湿陷系数减小到 $\delta_s=0.015$ 时(图4中c点)的压应力值可认为是黄土湿陷的终结,此点可定义为湿陷终止压应力 P_{zh} 。如果压应力继续增大,湿陷系数将小于0.015,也即黄土湿陷性消除,这就是有关 $P-\delta_s$ 曲线的一般变化规律。

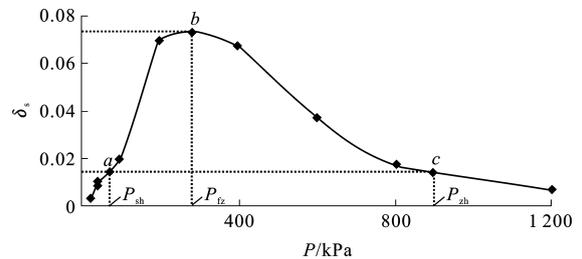


图4 典型 $P-\delta_s$ 曲线

Fig. 4 Typical P and δ_s Curve

从湿陷性黄土结构方面来分析上述变化的原因:在开始阶段,由于压应力较小,尚不足以破坏湿陷性黄土的孔隙结构,因此湿陷系数值比较小;当压应力逐渐增大到湿陷起始压应力 P_{sh} 后,压应力开始破坏湿陷性黄土的孔隙结构,黄土的湿陷性就逐渐表现出来,湿陷系数值显著增大;当压应力超过湿陷峰值压应力 P_{fz} 后,由于此时的压应力已经开始破坏黄土的原始结构,因此湿陷系数值反而随压应力增大而逐渐减小。

由此可见,只有当压应力超过湿陷起始压应力而又不大于湿陷终止压应力时饱和浸水才可能产生相当于 $\delta_s \geq 0.015$ 的湿陷变形,这个压应力区段称之为湿陷压应力区间。在湿陷压应力区间内,黄土的湿陷性比较显著,因此,在工程建设中,可以选择合适的地基压应力,尽量使压应力值小于湿陷起始压应力或者大于湿陷终止压应力,这样就可以减小湿陷对于工程建设带来的不利影响。

2.4 不同深度下 P_{sh} 、 P_{fz} 、 δ_{smax} 值比较

由图5、表2中可以看出在相同一组荷载作用下 P_{sh} 、 P_{fz} 、 δ_{smax} 值的变化:

(1)随着深度的增加,湿陷起始压应力 P_{sh} 也增大,而且当深度大于10 m时,增大的幅度更显著。两探井的曲线形状类似,2#探井对应各个点的湿陷起始压应力值 P_{sh} 要略大于1#探井所对应的值。

(2)湿陷峰值压应力 P_{fz} 也随深度增加而增大。
2# 探井对应各个点的湿陷峰值压应力 P_{fz} 随深度增

加而呈线性增加,1# 探井的 P_{fz} 则在深度 10 m 处发生突变,随深度增加其幅度显著增大。

(3)湿陷系数峰值随深度的增加而显著降低。
2# 探井对应各个点的湿陷系数峰值 δ_{smax} 要略大于 1# 探井所对应的值。

以上说明本场地黄土随着深度的增加,其湿陷性将逐渐减弱。深度越大,其湿陷性就越不明显,黄土的工程性质就越好。通过把 1# 和 2# 探井 3 组曲线进行拟合可以看出:不同深度 P_{sh} 、 P_{fz} 、 δ_{smax} 值曲线的显著拐点都在 10 m 深度附近。通过比较土样的物理性质发现,此深度为自重湿陷黄土层与非自重湿陷黄土层的分界处,10 m 以下深度的黄土可看作是非自重湿陷黄土,其湿陷性质发生了显著变化。

3 结 语

(1)在相同荷载作用下,湿陷性黄土的压缩量随着深度的增加而减小;湿陷起始压应力随深度的增加逐渐增大;湿陷峰值压应力随深度的增加逐渐减小。

(2)湿陷系数与压应力的关系表明,湿陷系数随压应力的变化而变化。当压应力较小时,随着压应力的增大湿陷系数也增大;当压应力达到湿陷峰值压应力后,湿陷系数又随压应力的增大而减小。

(3)对于本场地 Q_3 黄土,10 m 深度为自重湿陷黄土层与非自重湿陷黄土层的分界处,10 m 以下黄土的湿陷性质发生了显著变化。

参考文献:

References:

[1] 曾国红,孟 宪,裘以惠.关于黄土湿陷起始压应力、湿陷起始含水量的探讨[J].太原工业大学学报,1997,28(4):17-21.
ZENG Guo-hong, MENG Xian, QIU Yi-hui. The Inquiry into the Initial Pressure and Initial Moisture Content of Collapsible Loess[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 1997, 28(4): 17-21.

[2] 华南理工大学,东南大学,浙江大学,等.地基及基础[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
South China University of Technology, Southeast University, Zhejiang University, et al. Ground and Foundation [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1998.

[3] 张 炜,张苏民.我国黄土工程性质研究的发展[J].岩土工程学报,1995,17(6):81-86.
ZHANG Wei, ZHANG Su-min. Proceeding of China Loess Engineering Character Research [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1995, 17(6): 81-86.

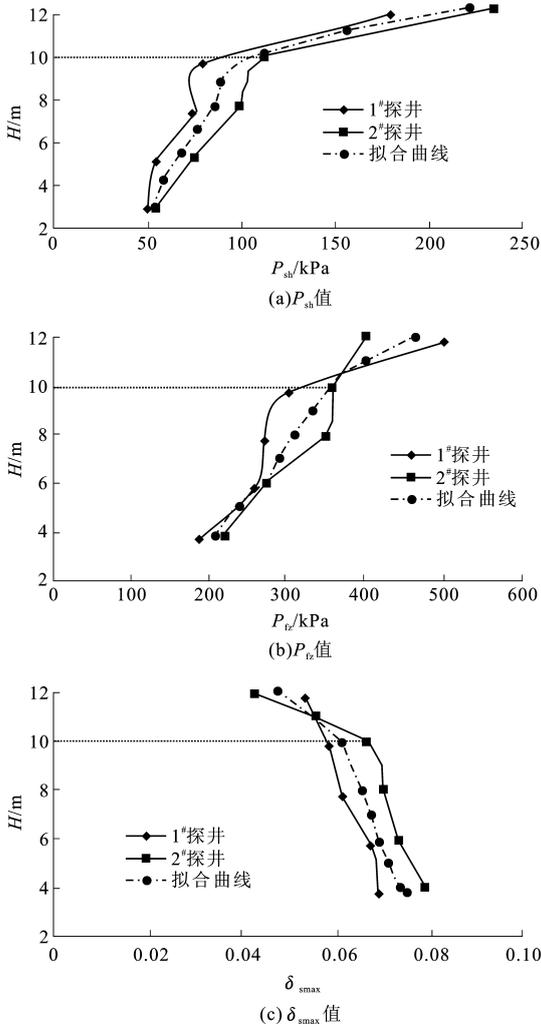


图 5 不同深度下 P_{sh} 、 P_{fz} 、 δ_{smax} 值比较

Fig. 5 Comparisons of P_{sh} , P_{fz} and δ_{smax} Under Different Depths

表 2 不同深度下 P_{sh} 、 P_{fz} 、 P_{zh} 、 δ_{smax} 值比较

Tab. 2 Comparisons of P_{sh} , P_{fz} , P_{zh} and δ_{smax} Under Different Depths

土样编号	H/m	P_{sh} /kPa	P_{fz} /kPa	P_{zh} /kPa	δ_{smax}
1-1	3.75	50	190	1 200	0.069
1-2	5.75	55	260	>1 200	0.067
1-3	7.75	75	270	1 200	0.061
1-4	9.75	80	300	>1 200	0.058
1-5	11.75	180	500	>1 200	0.053
2-1	4.00	55	220	>1 200	0.079
2-2	6.00	75	275	900	0.073
2-3	8.00	100	350	>1 200	0.070
2-4	10.00	115	360	>1 200	0.066
2-5	12.00	235	400	1 080	0.043