

透水石湿度对黄土湿陷性试验的影响机理^{*}

汤连生

(中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 运用概化模型, 根据毛细水的运移规律, 解释了其机理, 分析了透水石的湿度与湿陷试验中黄土变形之间关系。结论认为, 湿陷性试验中透水石和滤纸均必须是干燥的才能保证所测定的湿陷系数的精度。

关键词: 透水石; 饱和度; 黄土; 湿陷; 毛细水; 吸力

中图分类号: P642 13⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) 03-0083-03

陕西省综合勘察院与陕西省建工局科研进行的不同湿度透水石、过滤纸条件下的黄土湿陷试验(表 1)说明, 透水石和滤纸的饱和度不同, 对湿陷性试验影响很大。透水石含水量越大, 则湿陷系数越小, 压缩系数大。透水石湿度与土样含水量差值越大, 对湿陷系数、压缩系数的影响越大^[1]。由此, 为了保证湿陷系数测定的准确性和可比性, 在时限黄土地区建筑规范 (GBJ25—90) 和土工试验方法标准 (GB J50123—1999) 中, 根据大量试验结果对湿陷性试验使用透水石、滤纸的湿度有明确

规定, 即要求使用润湿或原湿的透水石。但是, 根据本文运用毛细水运移规律对透水石湿度影响黄土湿陷性试验的机理的分析, 规范中这种规定有问题, 此问题至今仍未解决, 且未获得合理的解释。

1 机理分析

根据表 1 的基本数据, 若将湿陷变形和压缩变形之和称为总变形, 湿陷系数 δ_s 和压缩系数 α 之和称为总变形系数 β , 则从表 1 最后两列的 β 值可知, 不管透水石、滤纸的状态如何, β 值比较接近。

表 1 透不石、滤纸湿度不同对湿陷试验的影响¹⁾

Tah 1 Test results for the influence of saturation degree of permeable stone and filter paper on subsidence test for loess

透水石、滤纸		黄土土样			湿陷系数 δ_s		压缩系数 $\alpha_{0.5-1}$		压缩系数 α_{1-2}		总变形系数 β	
状态	饱和度/%	含水量/%	孔隙比	饱和度/%	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值	$\delta_s + \alpha_{0.5-1}$	$\delta_s + \alpha_{1-2}$
干燥状态	0	15.9	1.270	34.1	0.093	0.097	0.018	0.019	0.060	0.055	0.116	0.152
		15.6	1.257	33.8	0.100		0.019		0.050			
干、原 状态	透水石为 0, 滤纸> 黄土	15.4	1.235	33.9	0.084	0.090	0.014	0.015	0.056	0.056	0.105	0.146
		15.3	1.225	34.1	0.095		0.016		0.055			
原湿 度状态	稍大于土样 的饱和度	16.5	1.246	36.0	0.086	0.083	0.020	0.023	0.069	0.079	0.105	0.162
		16.3	1.280	34.6	0.080		0.026		0.088			
饱和状态	100	15.9	1.237	35.0	0.001	0.001	0.164	0.149	0.164	0.174	0.150	0.175
		15.9	1.269	34.1	0.001		0.134		0.184			
半饱和状态	约 50	14.0	—	30.0	0.045		$\alpha_{1-3}=0.103$				$\delta_s + \alpha_{1-3}=0.148$	
干燥状态	0	14.0	—	30.0	0.089		$\alpha_{1-3}=0.065$				$\delta_s + \alpha_{1-3}=0.154$	

1) 前 4 行的基本数据据《室内压缩试验测定黄土的湿陷性》, 陕西省综合勘察院、陕西省建工局科学研究所, 1975 年; 最后 2 行的基本数据据《青海多巴场地黄土湿陷性试验研究报告》, 青海省勘察设计院, 1976 年。干燥状态: 透水石于烘箱内在 100~110℃烘干 3 h 以上, 并在烘箱中自然冷却, 直至试验之前取出。过滤纸在空气中干燥。干、原状态: 透水石于烘箱内在 100~110℃烘干 3 h 以上, 取出在空气中放置一夜以上, 过滤纸在开土时临时埋于原散土中 10 min 以上。原湿度状态: 透水石与过滤纸均埋于开土后的散土中, 在有盖的玻璃缸中放置一夜(环切的土样也同样储放), 试验前取出, 用毛笔轻轻掸去浮土。饱和状态: 透水石在水中浸泡 10 min 存在, 取出甩去浮土, 并用干毛巾吸去表面水分。过滤纸置在浸湿后拧干的毛巾上轻轻拍湿。半饱和状态: 透水石和滤纸饱和度大致都为 50%。

^{*} 收稿日期: 2002—06—17
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50279056, 59779019); 广东省自然科学基金资助项目 (970127)
作者简介: 汤连生 (1963 年生), 男, 博士, 副教授, E-mail: eests@zsu.edu.cn
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

这说明, 在一定的荷载压力作用下的湿陷性试验过程中黄土土样的总变形趋于某一定值, 但是总变形的组成及其原因不同而已。试验表明, 透水石中的水分参与了土样变形的全过程, 正因为如此, 土样的总变形是由透水石中的水分、荷载压力和压缩后浸泡土样的水分 3 个因素造成的。在正常的湿陷性试验中, 假定后 2 个因素不变, 透水石中水分的多少将影响土样在试验过程中每一阶段变形的大小。

黄土土颗粒多以 0.005~0.05 mm 的粉粒为主, 胶结物主要为可溶盐, 其水理性敏感, 受水浸湿后易产生附加沉降^[2 3]。湿陷性黄土的孔隙基本上表现在大孔隙和小孔隙两方面, 如图 1(a)。它大体可以划分为三种类型, 即超细孔隙、细孔隙、大孔隙, 前两种可归并为粒间孔隙。湿陷过程就是水的楔入导致小孔隙广义吸力(湿吸力和可变结构吸力之和)^[4-9]的逐渐丧失和大孔隙湿吸力的逐渐增大引起的微结构重建动力与重建阻力间的动态对抗过程^[7]。

透水石中的孔隙也有大小不一致, 但相对要均匀多了, 主要由较小的孔喉类孔隙和较大的孔复类孔隙两孔隙组成^[8]。为了说明黄土与透水石之间的水力联系和水分运移规律, 我们用直径不同的毛细管来表征相应大小的孔隙通道, 那么黄土与透水石的大小不同的孔隙之间接触(图 1(a))就可用如图 1(b)的毛细管模型来模拟。

根据图 1(b)和毛细水的运移规律, 透水石中的孔隙水与黄土孔隙中的水的水力联系取决于两个条件: ①透水石和黄土两者中的孔隙的相对大小; ②透水石的饱和度。一般来说, 透水石的孔隙比黄土的粒间孔隙要稍大些, 而比黄土大孔隙小许多。由于滤纸的孔隙比黄土和透水石的都要小, 当透水石或滤纸的湿度较大时, 滤纸在透水石和黄土这间起一种吸附导水的作用。因此, 第一个条件非常有利于

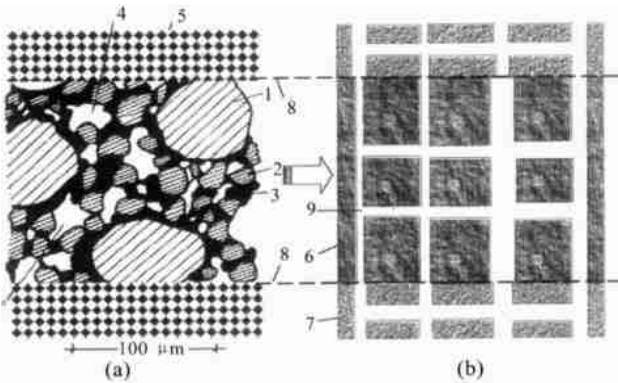


图 1 上下有透水石的黄土结构示意图

Fig. 1 Scheme for the microstructure of loess with two permeable stone layers at top and bottom

1: 砂粒; 2: 粗粉粒; 3: 胶结物; 4: 大孔隙; 5: 透水石; 6: 黄土骨架; 7: 透水石骨架; 8: 滤纸; 9: 孔隙

黄土从透水石中吸入水分。这样透水石是否会影响黄土湿陷性试验关键是看第二个条件。下面对第二个条件给予详细分析, 以解释透水石的饱和度对黄土湿陷性试验的影响机理及规律。

(1)当透水石和滤纸均为饱和状态时: 如图 2(a), 由于透水石孔隙比大, 其含水量高, 黄土中的细、中毛细管(细孔隙)由于毛细作用将从透水石吸入水分, 土中小孔隙首先吸水并很很趋于饱和, 此时小孔隙中胶结土颗粒的胶结盐类大部分被溶于水中, 可变结构吸入迅速丧失, 湿吸力快速减少, 导致土中广义吸力迅速减低。因而, 在压缩过程中, 湿陷变形就已发生, 导致压缩变形增大, 进而使得大孔隙变小, 稍后大孔隙中也逐渐进水而逐渐形成湿吸力, 其湿吸力在含水量增长的初中期将随着饱和度的提高而逐渐增大, 由此使得湿陷进一步发展, 其结果是在压缩过程中黄土的湿陷就其本完成。因而, 再将压缩后的土样浸泡饱和, 在同样的压力作用下, 该土

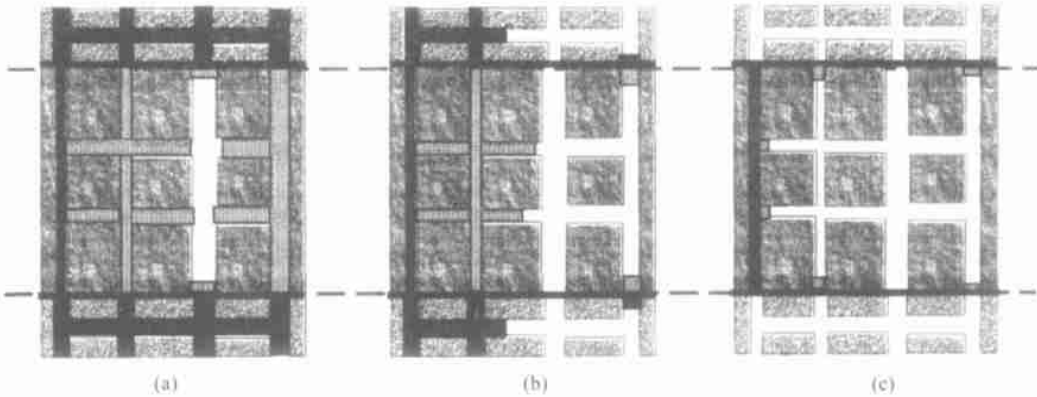


图 2 毛细水在透水石和黄土之间运移趋势示意图

Fig. 2 Scheme for tendency of capillary water moving among loess and permeable stone

■: 初始状态的水; ■: 透水石与黄土接触时毛细作用后的水

样剩余湿陷变形^[4]的增量很小。该状态的黄土湿陷压缩试验的特点实际上反映了表 1 中第 4 种状态饱和和透水石对黄土湿陷试验的影响。

(2)透水石和滤纸均为半饱和状态时:如图 2(b),由于毛细作用滤纸很快从透水石中吸水达到近饱和状态,含水量很低的黄土中较小的粒间孔隙首先从滤纸通过毛细作用吸水,滤纸水分失去后又从透水石中吸水,黄土再从滤纸中吸水,经过这样的水分运移过程,最终达到水力动态平衡,黄土中部分较小的粒间孔隙由于透水石的水分供给而趋于饱和。在压缩过程中黄土的孔隙变小使得黄土从透水石中吸入的水分更多。因而,在压缩过程中,由于透水石的湿度就引起了一定程度的湿陷,其效果是提高了压缩系数,降低了压缩后黄土的湿陷系数。

(3)当透水石、滤纸均为原湿状态时:图 2(c),由于滤纸基质势较大,和透水石一起埋于开土后的散土中的滤纸就通过毛细作用吸入很多水分,这样滤纸的湿度比黄土的大。在压缩前,透水石、滤纸和黄土之间水势达到平衡,随着黄土压缩过程,黄土的孔隙变小,黄土的基质吸力逐渐大于透水石的,黄土从透水石中吸入少量的水分,黄土中可溶胶结物产生少量溶解,使压缩系数有所提高,提前完成了少许湿陷变形,最后湿陷系数稍有降低,如表 1。

(4)当透水石和滤纸均为干状态时:由于透水石和滤纸中基本不含毛细水和重力水,且透水石的基质势小于黄土,透水石和滤纸对黄土中水分的吸入很有限,也不管黄土在压缩过程中由于孔隙变小而引起的基质吸力变得多大,透水石和滤纸都没有水分被吸入黄土中。因而,干燥状态的透水石和滤纸对黄土的湿陷性试验过程是不会产生任何影响的。

当透水石为干状态,而滤纸为原湿状态时,由于

滤纸的饱和度较高,其少量的水分有可能提供给压缩变形的黄土,而影响黄土的湿性试验,不过此影响非常小。表 1 的试验结果仅说明这种影响确实存在。

2 结 论

根据上述的分析,透水石的任何水分对室内黄土湿陷性试验都具有影响,现有规范中规定采用原或湿润的透水石^[2]将使得所测湿陷系数偏小,这样的湿陷系数用于实际设计是不适合的。分析不仅使我们理解了透水石湿度是如何影响湿陷性试验的,而且可以得出结论:在试验中,透水石和滤纸都应当是干燥的,这样测定湿陷系数既简便,其值才是真实可靠的。“透水石、滤纸采用原湿就能近似满足精度要求”的做法^[1]是没有必要的。

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.

[2] 王希玲. 影响黄土湿陷系数测定的几个因素[J]. 西北建筑工程学院学报(自然科学版), 2000, 17(1): 18—21.

[3] 张利生. 湿陷性黄土试验方法探讨[J]. 岩土力学, 2001, 22(2): 207—210.

[4] 汤连生. 结构吸力及非饱和土的总有效应力原理探讨[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39(6): 95—100.

[5] 汤连生, 王思敬. 湿吸力及非饱和土的有效应力原理探讨[J]. 岩土工程报, 2000, 22(1): 83—88.

[6] 汤连生. 从粒间吸力特性再认识非饱和土抗剪强度理论[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(4): 412—417.

[7] 汤连生. 黄土湿陷性的微结构不平衡吸力成因论. 岩土工程学报, 2003, 11(1): 30—35.

[8] 王大纯, 张人权, 史毅虹, 等. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1995.

Mechanism on Effects of Saturation Degree of Permeable Stone on Subsidence Test for Loess

TANG Lian-sheng

(Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The saturation degree of permeable stone may exert tremendous influence on subsidence tests for loess. The relationship between information of loess in subsidence tests and saturation degree of permeable stone was analyzed by general model and law of capillary water moving. The mechanism for the influence of saturation degree of permeable stones on subsidence tests was explained. It was concluded that only the adoption of dry permeable stone in the subsidence test guarantee the precision of subsidence coefficient of loess by testing.

Key words: permeable stone; saturation degree; loess; subsidence; capillary water; suction