

南宁膨胀土考虑固结与蠕变耦合的变形特性研究

肖宏彬, 滕珂, 许豪, 范志强

(湖南工业大学 岩土工程研究所, 湖南 株洲 412008)

摘要: 针对广西南宁膨胀土进行固结与蠕变耦合试验研究, 探讨了非饱和膨胀土固结与蠕变变形特性, 并且得到了对数形式的考虑固结与蠕变耦合的方程, 拟合曲线与实测曲线较为吻合。考虑固结效应的蠕变方程比用流变模型得到的蠕变方程更符合膨胀土的实际情况, 研究成果为分析膨胀土提供了新的理论方法。

关键词: 蠕变; 固结; 耦合; 对数

中图分类号: TU443

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)05-0001-04

Experimental Study on Deformation of Nanning Expansive Soil Considering Consolidation and Creep Coupling

Xiao Hongbin, Teng Ke, Xu Hao, Fan Zhiqiang

(Institute of Geotechnical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: In view of experimental study of consolidation and creep coupling of Nanning expansive soil, explores the creep and consolidation characteristics of unsaturated expansive soils, obtains logarithmic form equations considering the consolidation and creep coupling, and fitting curves fit very well with the measured curves. Moreover, the creep equation considering consolidation effect is more in line with the actual situation of expansive soil than the equation obtained from rheological model. The research provides a new theoretical method for the deformation analysis of expansive soil.

Keywords: creep; consolidation; coupling; logarithmic

0 引言

土是由固体颗粒、液态水和气体组成的多孔介质。在外力作用下, 孔隙中的水和气部分被挤出, 土颗粒重新排列, 使土骨架变形: 一方面, 土颗粒与孔隙流体之间的摩擦力使孔隙流体排除受阻, 土体变形延滞; 另一方面, 土颗粒之间的接触是结合水膜之间的接触, 结合水的粘滞性也将使土体变形无法瞬间完成。因此, 土的变形不仅与应力有关, 还与时间有关^[1], 这就是土的蠕变。

蠕变一般分为3个阶段, 即: 1) 初始蠕变或过渡蠕变, 应变随时间延续而增加, 但增加的速度逐渐减

慢; 2) 稳态蠕变或定常蠕变, 应变随时间延续而匀速增加, 这个阶段较长; 3) 加速蠕变, 应变随时间延续而加速增加, 直达破裂点^[2]。应力越大, 蠕变的总时间越短; 应力越小, 蠕变的总时间越长。为了更好地研究膨胀土蠕变的性质, 本试验研究附加了固结试验, 用于分析固结与蠕变的耦合。

近年来, 学术界对膨胀土的固结与蠕变研究取得了一定的成果^[3-6], 本文在已取得的成果基础上, 通过系列室内试验, 系统分析了膨胀土考虑固结效应的非线性流变特性, 并提出了相应的分析理论。

收稿日期: 2009-08-28

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(08JJ3092), 湖南省教育厅科研基金资助重点项目(07A017)

作者简介: 肖宏彬(1957-), 男, 湖南邵东人, 湖南工业大学教授, 博士, 主要从事岩土力学与基础工程研究,

E-mail: tfnxhb@sina.com.cn

1 非饱和膨胀土固结试验

非饱和膨胀土的固结试验过程为：土样制备（与文献[7]相同）于WG型单杠杆轻便固结仪上，对其分别施加12.5 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa和800 kPa的压力后，按照1 min、3 min、5 min、10 min、15 min、20 min、30 min、40 min、45 min、60 min、2 h、6 h、24 h的时间顺序，测记试样的高度变化。单级保载时间为1 d。

为了更好地研究固结与蠕变耦合部分，将试验数据扣除瞬时变形后结果如图1所示。

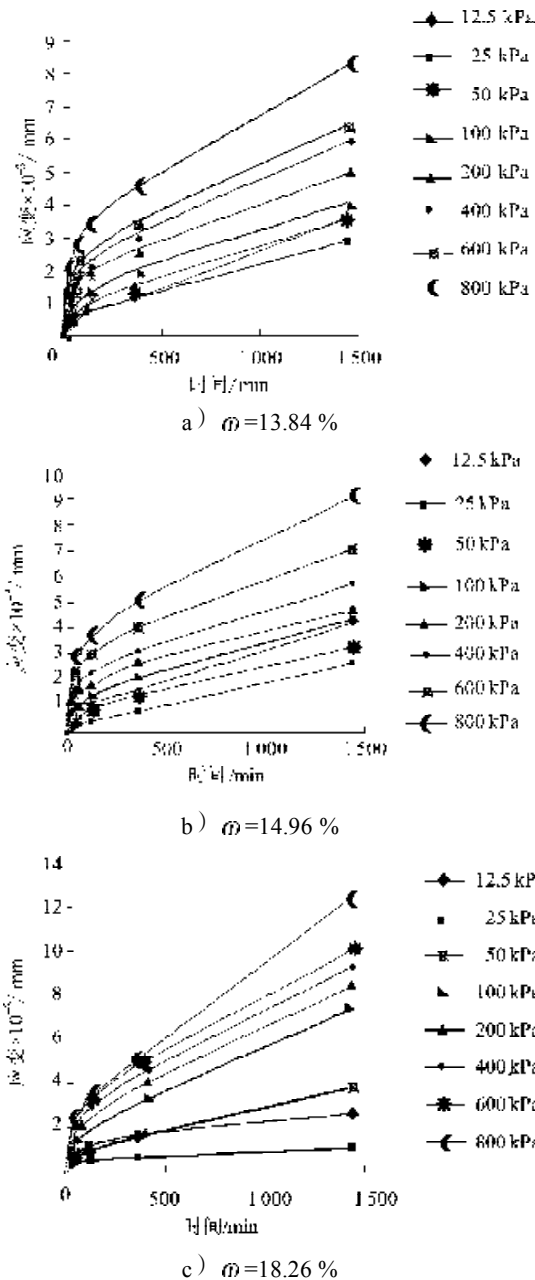


图1 固结试验中不同含水率时应变-时间曲线
Fig. 1 Strain-time curves at different water contents in consolidation test

第1级荷载12.5 kPa 过轻，所以放大了仪器误差，

但后续的几级荷载还是能成功地反映出膨胀土的蠕变。在同一含水率条件下，应变速率随荷载的增大而增大，同时应变-时间曲线也可以分成2个阶段：0~20 min 是应变迅速增大阶段，在这个阶段中，土中的孔隙水压力转为土粒间的有效应力，变形以固结变形为主；20 min 以后则变化相对平稳，在这个阶段中，水压力向有效应力的转化变缓，土骨架蠕变逐渐发展，蠕变变形开始产生。在相同荷载条件下，含水率较大的土样应变速率较快，含水率小的应变速率较小，试验结果如图2所示。

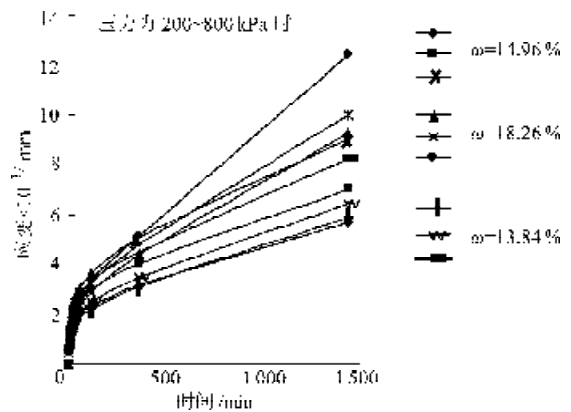
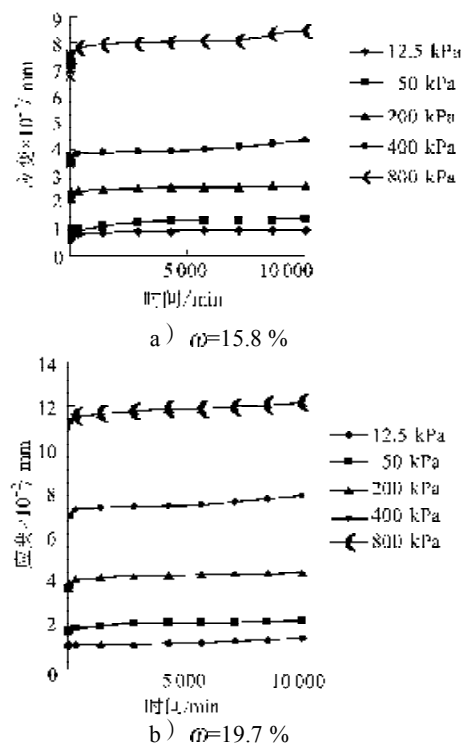


图2 不同含水率时应变速率比较
Fig. 2 Contrast of strain rate at different water contents

2 非饱和膨胀土的压缩蠕变试验

非饱和膨胀土的压缩蠕变试验过程与固结试验过程一致，单级保载时间为7 d，试验结果如图3，扣除瞬时变形后得到结果如图4。



b) $w = 19.7\%$

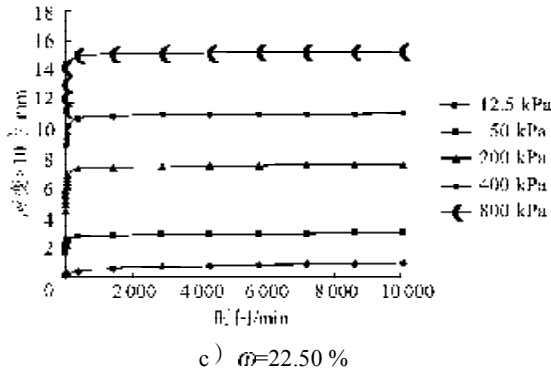
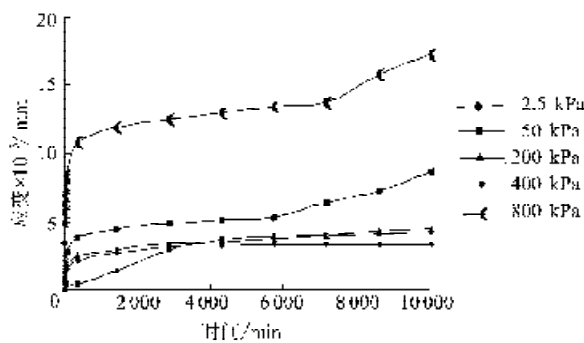
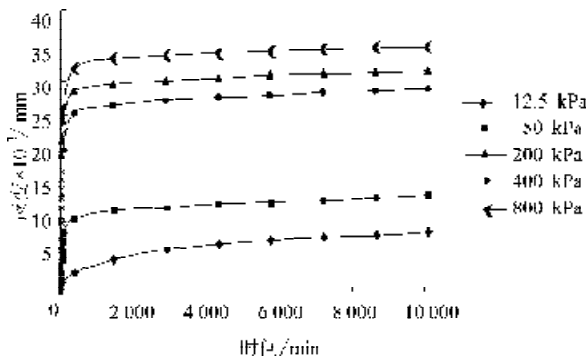


图3 不同含水率时应变-时间曲线

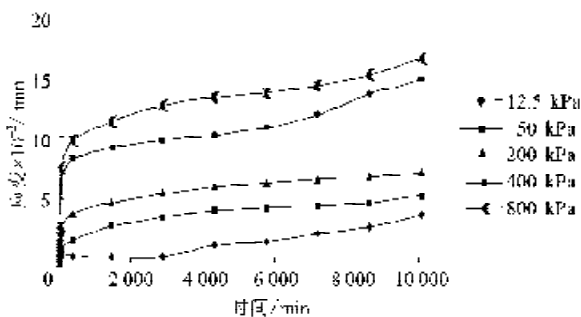
Fig. 3 Strain-time curves at different water contents



a) $w=15.3\%$



b) $w=22.5\%$



c) $w=19.7\%$

图4 扣除瞬时蠕变后不同含水率时应变-时间曲线

Fig. 4 Strain-time curves at different water contents after deleting transient creep

在每级加载时间小于2 000 min时,压缩蠕变试验所得到的曲线与前述固结试验有类似之处,比较图4

中的a)、b)、c)图的曲线后得出:含水率越大的土样,固结变形的时间越长,在应力水平较低的情况下,蠕变随时间的增长最后趋向于某个定值,表现为衰减蠕变。对于含水率为15.3%和19.7%的土样,在较大应力($\sigma=400\sim 800$ kPa)时,应变速率先逐渐减小,后来又出现增大,最后趋于稳定,曲线呈现出较为明显的3个阶段,即早期固结期、固结与蠕变耦合稳定期、加速蠕变期。但这一现象在含水率为22.5%的土样中并不明显。这是因为含水量高的试样固结和蠕变的过程都相对漫长,在试验期间内加速蠕变期没有明显地体现出来。

3 成果分析

通过对比试验数据可知,应力大小与含水率对膨胀土的蠕变特性有较大影响。在试验的第1阶段(也就是早期固结阶段),孔隙水和空气的排除使得土体在较短的时间内发生较大的变形;进入了固结与蠕变耦合稳定期时,荷载使得部分孔隙水排除,部分土骨架发生滑移,在这一时期,固结逐渐减弱而蠕变开始影响并逐渐主导土体变形,然而在较小应力时,大量残存的孔隙水阻碍了蠕变作用,影响了土的蠕变作用,从而出现衰减蠕变;随着固结和蠕变作用的发展,土颗粒之间的结合水膜阻碍作用逐渐变小,使得土体变形加速,土样进入加速蠕变期。含水率较高的土样,由于含有较多的孔隙水,并且结合水膜的粘滞能力较强,所以其每一个时期都比含水率较低土样的相应时期要漫长。

在较大应力($\sigma=50$ kPa、200 kPa)时,膨胀土的蠕变曲线呈衰减曲线,可以拟合为对数形式^[8];在更大应力($\sigma=400\sim 800$ kPa)时,应变速率先逐渐减小,尔后又出现增大,可以用对数与三次函数的叠加形式拟合,拟合关系如表2,拟合效果如图5。

表2 不同含水量时土体应变与时间拟合关系

Table 2 Strain-time fitting curves at different water contents

含水率 /%	荷载 /kPa	拟合方程: $\varepsilon = A \ln t + B t^3 + C t^2 + D t + E$					R^2
		相关系数					
		$A \times E^{-4}$	$B \times E^{-14}$	$C \times E^{-10}$	$D \times E^{-6}$	E	
15.3	400	6.68	0.266	0.271	-0.291	0.034 7	0.998
	800	19.60	-0.563	2.220	-1.770	0.0679	0.996
19.7	400	15.60	-1.230	3.110	-1.890	0.646 0	0.994
	800	17.10	-3.840	1.290	-9.110	0.105 6	0.997
22.5	400	49.70	-3.510	7.340	-5.320	0.080 0	0.985
	800	63.60	-5.410	11.100	-7.860	0.116 0	0.983

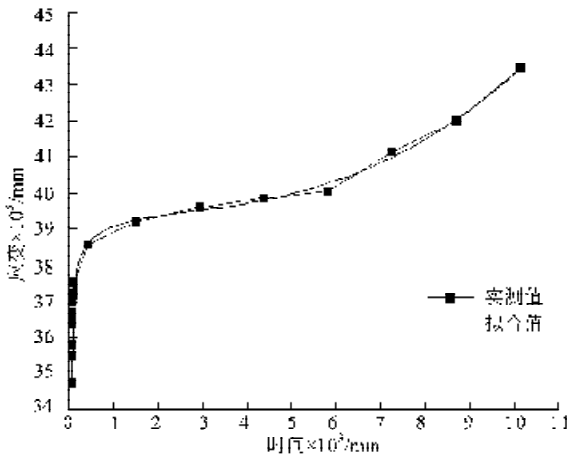


图5 含水率为15.3%的土样在400 kPa的荷载下的拟合曲线

Fig. 5 Fit curve of 15.3 water content soil under 400 kPa stress

4 结论

通过对南宁非饱和膨胀土的分级固结及压缩蠕变试验研究,并根据固结和蠕变耦合的试验结果进行理论分析,得出如下结论:

- 1) 南宁膨胀土的压缩变形包括瞬时固结变形、固结与蠕变耦合变形和长期蠕变变形3部分;
- 2) 土的含水率越高,固结变形时间越长,固结与耦合变形时间也越长;
- 3) 长期荷载作用下,土的蠕变变形分析必须考虑固结效应,本文所提出的对数形式膨胀土蠕变方程就是考虑了固结与蠕变耦合效应,具有较高精度,比用流变模型得出的方程更加精确。

参考文献:

- [1] 赵维炳. 软土的固结与流变[M]. 南京: 河海大学出版社, 1996.
Zhao Weibing. Soft Soils Consolidation and Rheology[M]. Nanjing: Hohai University Press, 1996.
- [2] 孙钧. 岩土材料流变及其工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
Sun Jun. Geomaterials Rheology and Engineering Application [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999.
- [3] 曾庆国, 张春顺, 肖宏彬. 南宁膨胀土的次固结特性试验研究[J]. 公路工程, 2008, 33(1): 10-13.
Zeng Qingguo, Zhang Chunshun, Xiao Hongbin. Test Study on Secondary Consolidation Characteristics for Nanning Expansive Soil[J]. Road Engineering, 2008, 33(1): 10-13.
- [4] Xiao Hongbin, Zeng Qingguo, Zhang Chunshun, et al. Contrastive Experiment Study on Rheological Characteristics for Nanning Expansive Soil[C]//An International Conference on Geotechnical Engineering. Changsha: Central South University, 2007: 389-398.
- [5] Xiao Hongbin, Miao Peng, Fan Zhiqiang. Research on Strength and Deformation of Unsaturated Expansive Soils with the Tri-axial Apparatus[C]//An International Conference on Geotechnical Engineering. Changsha: Central South University, 2007: 373-380.
- [6] Xiao Hongbin, Miao Peng, Zhang Chunshun. Research on Measurement and Disciplinarian of Vertical Swelling Force of Expansive Soils by Ameliorative Experiments[C]//An International Conference on Geotechnical Engineering. Changsha: Central South University, 2007: 381-388.
- [7] 黄华县, 张春顺. 膨胀土膨胀变形时程特性研究[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(4): 6-10.
Huang Huaxian, Zhang Chunshun. Study on Time-Related Characteristics of Expansive Soils Swelling Deformation[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(4): 6-10.
- [8] 范志强, 肖宏彬, 张亦静. 南宁非饱和膨胀土压缩蠕变特性试验研究[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(1): 1-5.
Fan Zhiqiang, Xiao Hongbin, Zhang Yijing. Experimental Study on Compression Creep Characteristics for Nanning Unsaturated Expansive Soils[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(1): 1-5.
- [9] 林峰, 黄英娣. 软土固结蠕变特性试验研究[J]. 中国水运, 2007, 7(7): 98-99.
Lin Feng, Huang Yingdi. The Experiment of the Characteristic Slow Change of Soft Soil Ground[J]. China Water Transport, 2007, 7(7): 98-99.

(责任编辑: 张亦静)