

膨胀土的膨胀模型

章为民, 王年香, 顾行文, 王 芳

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 膨胀土的研究主要针对膨胀变形与膨胀力而言,在膨胀变形方面,一般将膨胀变形与初始干密度、膨胀变形与初始含水量、膨胀变形与上覆荷载分开单独研究,没有从整体上研究它们的相互关系;在膨胀力方面,由于膨胀变形与膨胀力是从两类不同试验得到的,缺乏对膨胀变形与膨胀力之间相互关系的研究.在大量试验基础上,提出了膨胀土的膨胀模型,该模型不但能反映初始干密度、初始含水量、上覆荷载对膨胀变形的综合影响,还可以从膨胀变形试验直接得到膨胀力.模型揭示了膨胀变形与膨胀力的内在关系.模型理论结果与已有的国内不同单位对不同地区膨胀土试验的结果有很好的 consistency.

关键词: 膨胀模型; 膨胀变形; 膨胀力; 初始干密度; 初始含水量; 上覆荷载

中图分类号: TU443:TU411.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2010)01-0069-04

膨胀土具有胀缩性、超固结性、裂隙性等特殊工程性质,往往给膨胀土地区的工程建设带来一系列的问题,如地基隆起、房屋建筑物开裂变形、边坡失稳等,造成巨大的损失.据报道,美国每年因膨胀土造成的损失平均在10亿美元以上,我国因膨胀土造成的直接损失也达数亿元之巨.中国、美国、印度、南非、以色列、澳大利亚、加拿大及中西亚地区都有膨胀土的广泛分布^[1].膨胀土由于胀缩变形、膨胀力与强度的周期性变化,给国内外的工程建设带来不少麻烦,被称为“难对付的土”和“问题多的土”.在膨胀变形方面,索洛昌做过大量室内外试验,表明在复杂应力状态下,膨胀土地基的膨胀变形出现在垂直方向,而水平变形实际上并不大.我国学者也做了大量工作,由常规试验,或研制专门的仪器,或进行现场观测,试图分析解释建筑物地基的膨胀性和变形规律,取得了一定的成果^[2-5].然而目前在膨胀土的研究中还存在两个主要的问题.在膨胀变形研究方面,一般是将膨胀变形与初始干密度、膨胀变形与初始含水量、膨胀变形与上覆荷载分开单独研究,没有从整体上研究它们的相互关系;在膨胀变形与膨胀力的研究方面,由于膨胀变形与膨胀力是从两类不同的试验得到的,对膨胀变形与膨胀力之间的相互关系也缺乏深入的研究.由于膨胀土的复杂性,近年来人们开始转向应用非饱和土理论来研究膨胀土,但膨胀土非饱和土理论的发展水平以及试验条件限制了这一理论的广泛应用.随着南水北调工程及西部大开发的展开,膨胀土的问题必将日益突出.

本文结合西部交通建设科技项目研究,在大量常规试验的基础上,提出了膨胀土的膨胀模型.该模型不但能反映初始干密度、初始含水量、上覆荷载的综合影响,还可以从膨胀变形试验直接得到膨胀力,揭示了膨胀变形与膨胀力的内在关系.最后将模型理论结果与已有的国内不同单位对不同地区膨胀土试验的结果进行了比较验证.

1 试验得到的相关关系

通过大量的试验研究,得到膨胀土膨胀变形与初始干密度、初始含水量、上覆荷载等条件的关系(见

收稿日期: 2009-03-17

基金项目: 西部交通科技资助项目(200231874616)

作者简介: 章为民(1959-),男,江苏连云港人,教授级高级工程师,主要从事岩土工程与岩土力学方面的研究.

E-mail: wmzhang@nhri.cn

图 1), 并可用以下的表达式来描述.

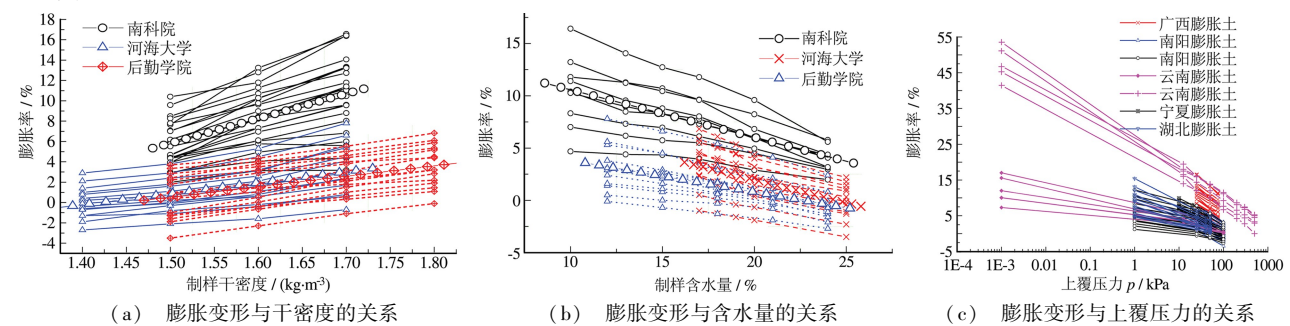


图 1 膨胀变形与初始干密度、初始含水量及上覆荷载的关系

Fig. 1 The relations among swelling deformation, primary dry density, primary moisture content and vertical press

膨胀变形与初始干密度的关系:

$$\delta_{\gamma} = A_{\gamma} + B_{\gamma} \gamma \tag{1}$$

膨胀变形与初始含水量的关系:

$$\delta_{\omega} = A_{\omega} + B_{\omega} \omega \tag{2}$$

膨胀变形与上覆荷载的关系:

$$\delta_p = A_p + B_p \log(p) \tag{3}$$

从图 1 可以看出,用上述 3 式来描述膨胀变形符合国内外大多数试验结果^[7-8],可以满足一般工程的需要. 试验结果也表明,膨胀变形与上覆荷载的关系可用半对数关系来描述,而半对数的关系也恰好与土的压缩变形关系($e \sim \log p$)一致,在理论上也有一定的根据.

2 膨胀土的膨胀模型

根据试验结果,膨胀变形主要与初始干密度、初始含水量和上覆荷载有关,可用 3 个变形的分量之和来表达,即把膨胀土的膨胀变形用一个空间曲面的集合来表述,即:

$$\delta = A + K_{\omega} \omega + K_{\gamma} \gamma + K_p \log p \tag{4}$$

式中: δ 为膨胀变形; γ 为初始干密度; ω 为初始含水量; p 为上覆荷载; $A, K_{\omega}, K_{\gamma}, K_p$ 为模型参数,通过常规膨胀变形试验可计算得到模型参数. 表 1 是根据(4)式对试验数据进行多元线性回归得到的模型参数.

表 1 膨胀土膨胀变形模型参数

	A	K_{ω}	K_{γ}	K_p
宁夏膨胀土	-3.157	-0.206	14.240	-6.811
广西膨胀土	-4.704	-0.456	20.422	-7.745
河南膨胀土	-1.603	-0.302	10.767	-4.850
湖北膨胀土	3.430	-0.528	10.938	-4.048
河南膨胀土	4.197	-0.439	10.265	-6.105

采用膨胀模型计算得到的不同地方的膨胀变形理论值与试验值的比较见图 2. 可见,理论值与试验值吻合良好,膨胀模型比较好地反映了膨胀土的膨胀变形特性与变化规律.

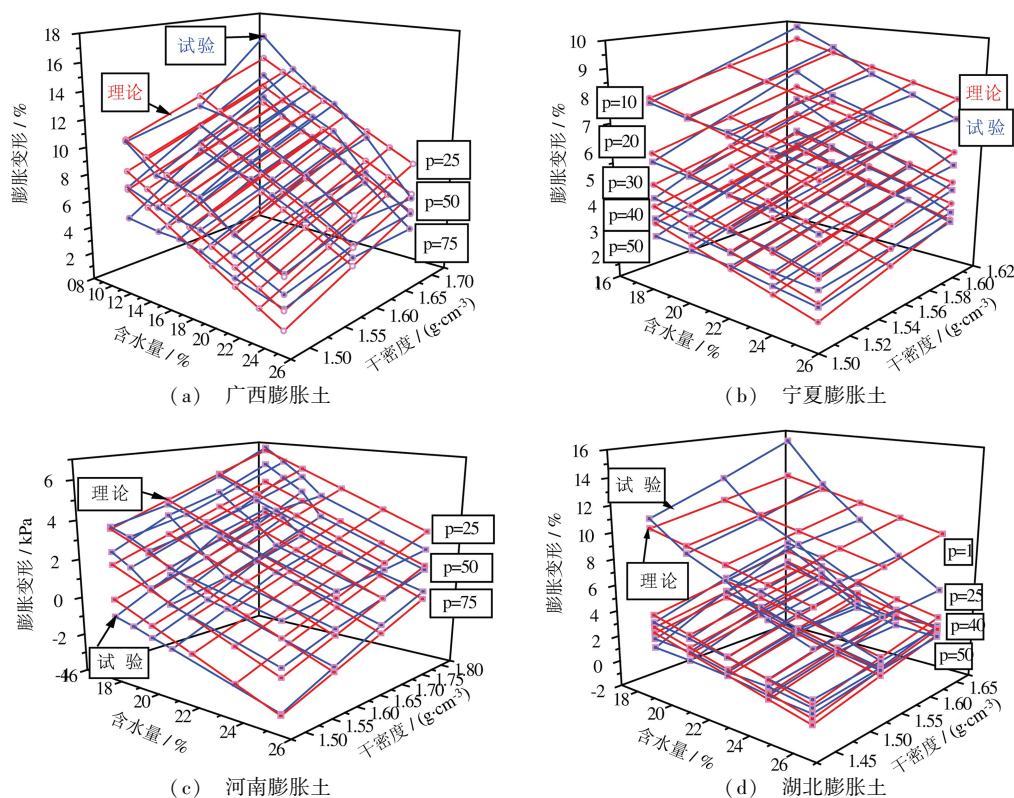


图2 膨胀变形计算理论值与试验值比较

Fig. 2 The comparison between the model deformation and the test

下面通过膨胀模型来推求膨胀力. 根据膨胀力的定义, 当膨胀变形 $\delta=0$, 上覆压力等于膨胀力. 根据公式 (4), 可以得到膨胀力的表达式:

$$F = e^{-2.3026 \times \frac{A+K_p \gamma + K_p \omega}{K_p}} \quad (5)$$

式中: F 为膨胀力. 根据 (5) 式得到的膨胀力理论值与试验值比较见图 3^[1-2].

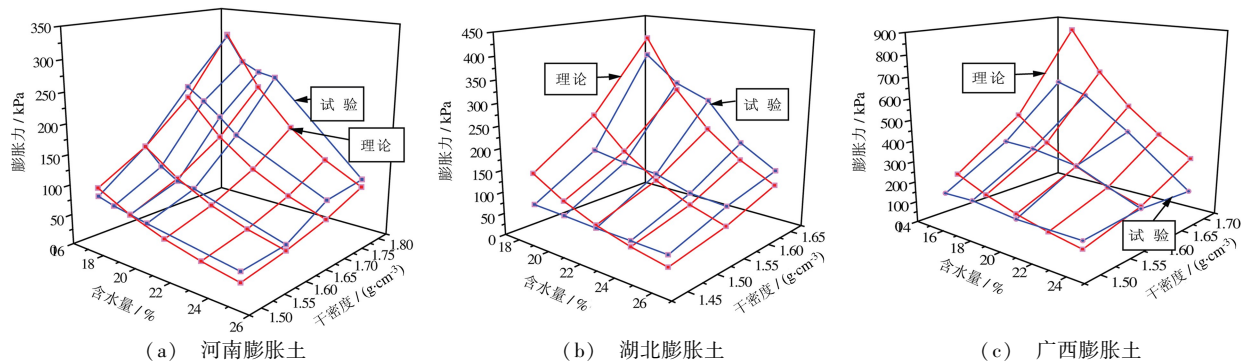


图3 膨胀力理论值与试验值比较

Fig. 3 The comparison between the model swelling force and the test

可见, 理论值与试验值吻合较好. 需要特别强调的是, 由于图中的试验膨胀力是通过膨胀力试验得到的 (即在试验中始终保持 $\delta=0$), 而图中的理论值是用 (5) 式计算, 在膨胀变形试验基础上通过膨胀模型得到的. 试验结果表明, 从两种不同的应力路径得到的膨胀力变化规律是一致的. 这也证明本文建议的膨胀模型不仅比较好地表现了膨胀土膨胀变形以及膨胀力的变化规律, 也客观地反映了膨胀变形与膨胀力之间的内在关系, 同时也证明了用膨胀变形试验方法得到膨胀力的合理性.

3 结 语

在膨胀变形研究方面,通过膨胀模型在膨胀变形与初始干密度、初始含水量、上覆荷载之间建立了一个较为合理的关系,为从整体上研究它们的相互关系提供了一个新的途径;在膨胀力研究方面,通过膨胀模型建立了膨胀力与初始干密度、初始含水量的关系,通过膨胀模型可以从膨胀变形试验直接得到膨胀力;在膨胀变形与膨胀力的关系方面,本文模型理论结果与已有的国内不同单位对不同地区膨胀土的试验结果有很好的一致性,进一步证明了膨胀变形与膨胀力之间的内在关系。

致谢:文中部分地区的膨胀土试验结果分别借用了参考文献[2-6]中的试验数据,特此声明,并致谢意。

参 考 文 献:

- [1] BLIGHT G E. The Rankine Lecture: Interactions between the atmosphere and the earth[J]. *Geotechnique*, 1997, 47(4): 731-767.
- [2] 缪林昌, 仲晓晨, 殷宗泽. 非饱和膨胀土的变形规律的试验研究[J]. 大坝观测与土工测试, 1999, 23(3): 36-39. (MIAO Lin-chang, ZONG Xiao-chen, YIN Zong-ze. Test research of unsaturated expansive soil strain laws [J]. *Dam Observation and Geotechnical Tests*, 1999, 23(3): 36-39. (in Chinese))
- [3] 黄赓祖. 膨胀黏土填筑条件的控制[J]. 岩土工程学报, 1983, 5(1): 157-166. (HUANG Geng-zu. Control of placement moisture and density in compacted expansive clays[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1983, 5(1): 157-166. (in Chinese))
- [4] 余成光. 昆明膨胀土与建筑物变形破坏初步研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994(增1): 196-200. (YU Cheng-guang. Rudimentary research of expansive soil and building deformation failure in Kunming city[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 1994(Suppl 1): 196-200. (in Chinese))
- [5] 丁振洲, 李利晟, 郑颖人. 膨胀土增湿变形规律及计算公式[J]. 工程勘察, 2006(7): 13-16. (DING Zhen-zhou, LI Li-cheng, ZHENG Ying-ren. Expansive soil swelling deformation and computation[J]. *Engineering Prospection*, 2006(7): 13-16. (in Chinese))
- [6] 徐永福, 史春乐. 宁夏膨胀土的膨胀变形规律[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(3): 95-98. (XU Yong-fu, SHI Chun-le. Swelling deformation of the Ningxia expansive soil[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1997, 19(3): 95-98. (in Chinese))
- [7] ABDULJAUWAD S N, AL-SULAIMANI G J, BASUNBUL I A, et al. Laboratory and field studies of response of structures to heave of expansive clay[J]. *Geotechnique*, 1998, 48(1): 103-121.
- [8] HOLTZ W G, GIBBS H J. Engineering properties of expansive clays[C]. *Proceedings of ASCE*, 1954: 80.

An expansive model for expansive soil

ZHANG Wei-min, WANG Nian-xiang, GU Xing-wen, WANG Fang
(*Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: Based on the tests, an expansive model is proposed for the expansive soil. The model can describe the soil's swelling properties under different densities, different water contents and different vertical load levels. The expansive force can be given by the model directly. The model parameters need the swelling deformation tests only. The model results have a good compatibility to the existing results obtained by different institutions on different expansive soils.

Key words: expansive model; expansive deformation; expansive force; initial dry density; initial water content; vertical press