

文章编号: 1000-7598-(2008)12-3333-04

膨胀土膨胀力原位测试方法

周 博^{1,2}, 陈善雄¹, 余 飞¹, 许锡昌¹

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430071; 2. 山西省交通规划勘察设计院, 太原 030012)

摘 要: 由于室内测定的膨胀力结果往往不能真实地反映现场情况, 因此, 测定膨胀土的原位膨胀力有着极其重要的现实意义。采用加压膨胀法, 即利用现场有荷膨胀率试验结果, 由内插得到膨胀力值的测试方法, 并通过现场试验与室内试验结果的对比, 对该方法进行了验证。对比结果表明, 该方法能真实地反映膨胀土的膨胀趋势, 所测结果能真实地反映现场膨胀力值, 且易于操作, 有较好地推广应用前景。

关 键 词: 膨胀土; 膨胀力; 原位测试

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

An in-situ testing method of swelling pressure on expansive soils

ZHOU Bo^{1,2}, CHEN Shan-xiong¹, YU Fei¹, XU Xi-chang¹

(1. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 2. Shanxi Provincial Communications Planning, Survey and Design Institute, Taiyuan 030012, China)

Abstract: It is very necessary to measure the swelling pressure of expansive soils in-situ, due to the laboratory results can not usually reflect practical situations. Using "loading-swelling method", by use of the results of loaded swelling rate tests, swelling pressure values are obtained through linear interpolation. Field test results show that the swelling pressure can reflect the real situations. This testing method may have good applied prospects because of easily to operate.

Key words: expansive soils; swelling pressure; in-situ test

1 引 言

膨胀土是一种具有吸水膨胀、失水干缩的特殊土。工程实践表明, 膨胀土路基的病害十分普遍。膨胀力是反映膨胀土膨胀特性的直观性指标, 是膨胀土地区工程建设中的重要参数之一, 因此, 膨胀力的测试十分必要。关于膨胀力的室内测试试验, 国内外已经做了大量的研究工作, 测试的原理、方法都比较成熟。丁振洲、郑颖人等^[1]通过对膨胀力概念的剖析, 将膨胀力的测试方法分为膨胀反压法、加压膨胀法和平衡加压法 3 种, 并阐明了每种方法的利弊, 指出不论由何种起始含水率开始增湿, 前期自然膨胀力均急剧增大, 一定程度后增加缓慢且接近于线性的膨胀规律; 孙重初、肖洪雷等^[2-6]还通过不同的室内试验对膨胀力的测定进行了分析, 并探讨了膨胀土的膨胀规律。

由于现场路基的实际情况与室内试验条件不可

能完全相同, 室内膨胀力试验结果往往难以真实反映现场情况, 因此, 对膨胀土路基进行原位膨胀力测试显得十分必要。目前关于膨胀力的原位测试试验研究甚少, 也没有成熟的测试方法。李凤起等^[7]基于室内“压力-膨胀量曲线法”原理, 提出了膨胀土地基原位膨胀力的测试方法。本文借鉴此方法, 依托合(肥)一六(安)一叶(集)高速公路, 选取典型膨胀土改性路基进行了原位膨胀力测试, 并与室内改性土试验结果进行了对比分析。

2 原位膨胀力测试方法介绍

2.1 测试原理

考虑到现场试验应具有易操作、外界干扰小的特点, 采用加压膨胀法, 即利用一组有荷膨胀率试验结果, 由内插得到膨胀力值。

2.2 场地选择

选择具有代表性的场地作为试验用地, 确定试

收稿日期: 2008-04-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No.50279050)。

作者简介: 周博, 男, 1981年生, 硕士, 现主要从事岩土与地下工程方面的研究工作。E-mail: zhoubo81@163.com

验试体位置。试体应大小适中，太小，可能出现浸水软化现象；太大，中心土体不能充分浸水膨胀。本试验所选圆柱体直径为 30 cm、深 50 cm，为避免各组试验之间的相互干扰，试体间距应大于 120 cm。

2.3 试体

去除试体及其周围直径 60 cm 圆周内的表层风干土。为了模拟雨水渗透以及考虑到雨水影响深度，在圆周的 8 等分点上打直径 5 cm、深 50 cm 的圆孔。圆孔之间开凿 5~10 cm 深的浸水圆弧沟，用粗砂将圆孔填满捣实并铺平整整个圆周面，使得水分能均匀渗透，最后在试体周围铺填直径为 70 cm、高为 10 cm 左右的围埂，以防止浸水水源溢出。

2.4 加压及变形观测方法

在试体渗透影响范围之外对称选取两点作为变形监测的基点，并平整基点附近的土体。水平架设槽钢于基点上，并悬空于试体上方；相对于试体在槽钢上对称安置百分表，调整百分表位置，使其表针与试体上覆的承载板垂直（由于砝码与土接触后不透水，加荷载前，需在试体平面上铺直径 30 cm 的无纺布，保证试验土体表面的透水性），调整并记录百分表的初始值，按要求加载，并记录百分表读数变化（由于无荷膨胀时，百分表不好直接放在土体上，因此，在地表放了一块直径为 30 cm 承载板，承载板自重荷载为 0.7 kPa），随即开始进行浸水试验。在浸水初始阶段，土体膨胀变形较快，观测时间间隔以 10~30 min 为宜，膨胀变形减缓后每小时观测一次，直到膨胀变形稳定。各级荷载下膨胀变形的稳定标准为：连续两次观测时间内的变形差不超过±0.01 mm。试验过程中，在试体表面徐徐加水，保证土体表面随时有薄层水覆盖，以防止渗入土体内的水分蒸发出来，试验过程见图 1 和图 2。

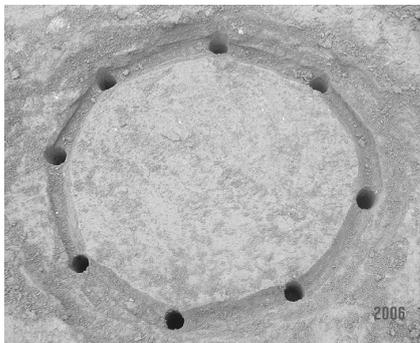


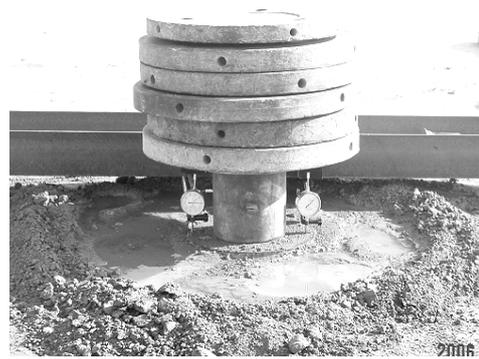
图 1 加载及浸水前的试体
Fig.1 The testing mass before loading and immersing

2.5 试验数据处理

以荷载为纵坐标，膨胀量为横坐标，将试验荷



(a) 无荷膨胀



(a) 有荷膨胀

图 2 试验加载及变形观测情景
Fig.2 The loading and deformation measuring

载与相应的最大膨胀量绘制在坐标系内，用直线拟合荷载与膨胀量间的关系，膨胀量为 0 对应的荷载即为土样的膨胀力 P_s 。以膨胀量为纵坐标、膨胀时间为横坐标建立坐标系，绘制膨胀量与膨胀时间关系曲线，则该曲线反映了土体吸水膨胀变形随时间变化的过程。

3 现场试验

依托合（肥）—六（安）—叶（集）高速公路项目，在典型膨胀土的路床改性段上进行原位膨胀力测试，并与室内改性土试验结果进行对比分析。

3.1 试验场地

在已改性路床段选取两处不同地段作为试验场地，并分别采集场地附近未改性膨胀土土样，按照《公路土工试验规程》^[8]对土样进行物理特性指标试验，试验结果见表 1。

表 1 现场试验土体的基本物理特性指标
Table 1 Indexes of physical characteristics of in-situ soils

土样	液限 /%	塑限 /%	塑性指数 塑性指数	<2 μm 胶粒含量 /%	自由膨胀率 /%
场地 1	48.6	21.7	26.9	39	44
场地 2	63.2	24.9	38.3	44	61

从表中可以看出，未改性前，根据《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)^[9]推荐的分类标准，场地 1 为弱膨胀土，场地 2 为中膨胀土。为了满足《规范》^[9]中对路基填土的要求，对场地 1 进行 5% 掺灰改性，场地 2 进行 8% 掺灰改性。

3.2 原位膨胀力试验结果

在场地 1 (典型弱膨胀土路床改性段) 布置 4 组试验，每组分别进行无荷与有荷试验。所谓无荷试验，实际上是 0.7 kPa 的小荷载试验，有荷试验荷载分别为 8.7, 9.1, 19.0, 20.2 kPa。在场地 2 (典型中膨胀土路床改性段) 布置 5 组试验，每组分别进行“无荷”与有荷试验，无荷荷载仍为 0.7 kPa，有荷荷载分别为 22, 21.6, 22, 20.1, 21.1 kPa。荷载-膨胀曲线见图 3。

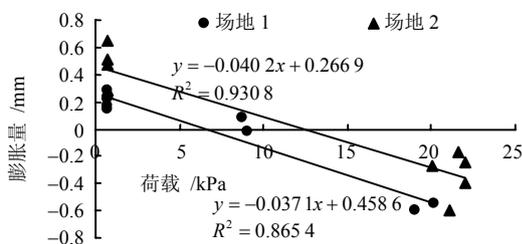


图 3 荷载-膨胀关系曲线
Fig.3 Correlation of load-expansion

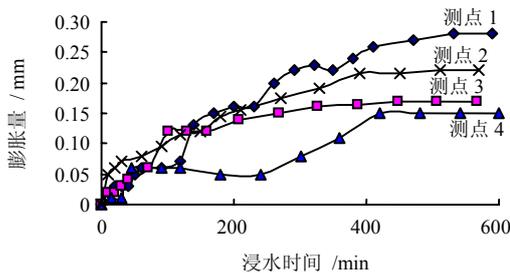
从图中可以看出，膨胀量与上覆荷载呈负相关。无荷时，膨胀量最大；有荷时，上覆荷载越大，膨胀量越小。从荷载-膨胀关系曲线与两个坐标轴的交点可以看出，场地 1 土样的最大膨胀量为 0.3 mm 左右，膨胀力为 6 kPa 左右，场地 2 土样的最大膨胀量为 0.5 mm 左右，膨胀力为 12 kPa 左右。

3.3 膨胀变形过程

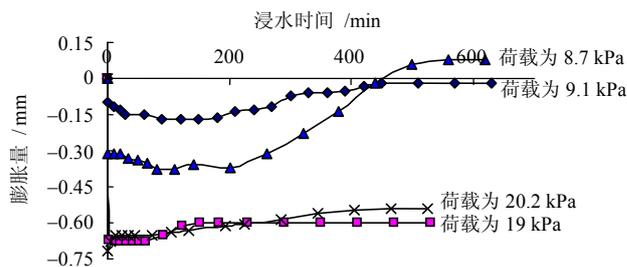
不同级别荷载下吸水膨胀变形与时间的关系曲线如图 4 和图 5 所示。

通过以上膨胀变形-时间图可以看出，对于无荷膨胀，场地 1 和场地 2 变形规律相同，变形曲线形状基本一致。土体在吸水的初始阶段，膨胀变形速度较快，变形曲线较陡。随着土体的吸水饱和，膨胀速度减慢，膨胀变形趋于稳定。从膨胀曲线上可以反映出膨胀土浸水后，初期吸水膨胀变形急剧增大，土体基本饱和后，膨胀增加缓慢并逐渐趋于稳定。对于有荷膨胀，场地 1 和场地 2 变形规律相同，变形曲线形状基本一致。加荷后产生较大瞬时压缩变形；土体吸水膨胀，膨胀变形呈缓慢上升趋势，最终净变形量取决于上覆荷载的大小。从两组变形曲线还可以看出，场地 1 的膨胀量均小于场地 2 的

膨胀量，这也与场地 1 的膨胀力小于场地 2 的膨胀力的试验结果相符。

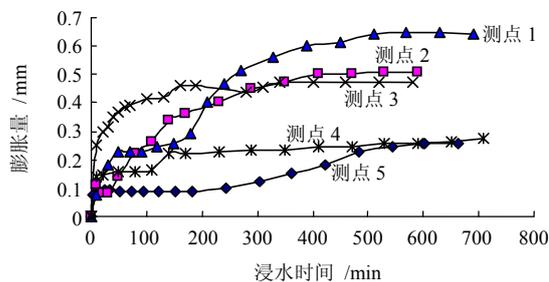


(a) 无荷膨胀

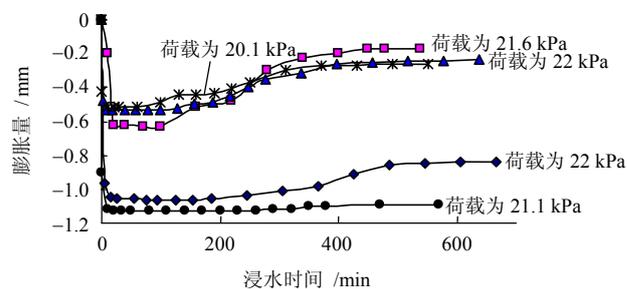


(b) 有荷膨胀

图 4 场地 1 各级荷载下试验时间与膨胀变形关系曲线
Fig.4 Relations between expansive deformation and test time under different loads in site 1



(a) 无荷膨胀



(b) 有荷膨胀

图 5 场地 2 各级荷载下试验时间与膨胀变形关系曲线
Fig.5 Relations between expansive deformation and test time under different loads in site 2

4 与室内试验对比分析

现场试验与室内试验结果对比见表 2。

表2 膨胀力试验结果对比表
Table 2 Comparison of swelling pressure between laboratory and in-situ tests

场地	现场掺灰比 /%	原位膨胀力 /kPa	室内掺灰比 /%	室内膨胀力 /kPa
场地1	5	6.6	7	0
场地2	8	12.4	7	27.5

表2的对比表明, 原位试验结果与室内试验结果存在偏差, 这主要是由于室内外掺灰比不同造成。场地1为弱膨胀改性土, 现场掺灰比小于室内掺灰比, 所以现场试验结果较室内结果偏大; 场地2为中膨胀土改性, 现场掺灰比大于室内掺灰比, 所以现场试验结果较室内结果偏小; 此外, 由于现场试验条件与室内试验条件不同, 都会影响试验的结果。综合考虑以上因素, 说明本文试验较好地反映了现场膨胀力的大小。

5 结论

(1) 采用加压膨胀法, 对典型膨胀土的路床改性段进行了原位膨胀力测试。测试结果说明, 该方法能较真实地反映现场膨胀力。

(2) 从荷载-膨胀变形曲线看, 无荷膨胀条件下, 土体在吸水的初始阶段, 膨胀变形速度较快; 随着土体的吸水饱和, 膨胀速度减慢, 膨胀变形趋于稳定。有荷膨胀条件下, 加荷后产生较大瞬时压缩变形, 土体吸水膨胀变形呈缓慢上升趋势, 最终净变形量取决于上覆荷载的大小。

(3) 原位试验结果与室内试验结果存在偏差, 这主要是由于室内外掺灰比不同造成的。此外, 现场试验条件与室内试验条件的不同, 也会在一定程度上影响试验的结果。

(4) 对于原位膨胀力的测定, 目前规范中还没

有成熟的方法, 本文采用的膨胀土原位测试方法也仅在合(肥)一六(安)一(集)高速公路膨胀土的路床改性段进行了验证, 其普遍适用性有待今后系统的实践来检验。

参考文献

- [1] 丁振洲, 郑颖人. 膨胀力概念及其增湿规律试验研究[J]. 工业建筑, 2006, 26(3): 67-70.
DING Zhen-zhou, ZHENG Ying-ren. Study of concept of swelling force and its moistening trial regularity[J]. **Industrial Construction**, 2006, 26(3): 67-70.
- [2] 谭罗荣, 孔令伟. 膨胀土膨胀特性的变化规律研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(10): 1555-1559.
TAN Luo-rong, KONG Ling-wei. Study of variation regularity of swelling behavior of expansive soil[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(10): 1555-1559.
- [3] 肖洪雷. 膨胀土的室内试验分析与研究[J]. 设计技术, 2003, (1): 22-24.
- [4] 陈善雄, 孔令伟, 郭爱国. 膨胀土工程特性及其石灰改性试验研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(增刊): 9-12.
- [5] 孙重初. 膨胀土试验方法的探讨[J]. 勘察科技, 1994, (3): 7-16.
- [6] 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [7] 李凤起, 姚建平. 膨胀土地基原位膨胀力试验研究[J]. 沈阳建筑大学学报, 2005, 21(1): 29-31.
LI Feng-qi, YAO Jian-ping. In-situ swelling force experimental study of swelling soil ground[J]. **Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering Institute**, 2005, 21(1): 29-31.
- [8] 交通部公路科学研究所. JTJ051-93 公路土工试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [9] 中交第二公路勘察设计研究院. JTG D30-2004 公路路基设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [9] 刘汉龙. 浆固碎石桩技术及其应用[J]. 岩土工程界, 2006, (7): 27-30.
LIU Han-long. Grouting gravel pile technology and its application[J]. **Geotechnical Engineering World**, 2006, (7): 27-30.
- [10] 中华人民共和国建设部. GB50021-2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [11] 张忠苗, 张广兴, 吴庆勇, 等. 钻孔桩泥皮土与桩间土性状试验研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(6): 695-699.
ZHANG Zhong-miao, ZHANG Guang-xing, WU Qing-yong, et al. Studies of characteristics of mudcake and soil between bored piles[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2006, 28(6): 695-699.
- [12] 《岩土注浆理论与工程实践》协作组. 岩土注浆理论与工程实践[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [13] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算(第二版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.

上接第 3332 页