

抗滑桩土拱效应的时效性试验分析

王桂林^{1a,1b}, 樊友全^{1a,1b,2}, 张永兴^{1a,1b}, 董捷^{1a}

(1. 重庆大学 a. 土木工程学院; b. 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400045;
2. 重庆高新工程勘察设计院有限公司, 重庆 400042)

摘要:土拱效应是保证抗滑桩桩后土体稳定的重要因素,由于岩土体具有蠕变特性,必然导致桩间土拱的形成具有一定的时效性。笔者设计了抗滑桩室内推桩模型试验,分析了1 kN、2 kN恒定外推力条件下,抗滑桩桩后土体内部的应力分布特征及土拱效应的时效性。沿法向布置的土压力计量测数据表明,土拱效应随着推力的增大而增强。随着时间的推移,土拱作用厚度相对增加;沿推力方向布置的土压力计量测数据表明,水平土拱效应伴随推力增长呈现出先增强而后逐渐扩展的现象,随着时间的增长,应力沿着法向扩散的范围有很大的增长。

关键词:抗滑桩;恒定外推力;土拱效应;时效性;土压力;蠕变

中图分类号:TU457 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2011)02-0028-04

Time Effect Experimental Analysis of the Soil Arch Effect of Anti-sliding Pile

WANG Gui-lin^{1a,1b}, FAN You-quan^{1a,1b,2}, ZHANG Yong-xing^{1a,1b}, DONG Jie^{1a}

(1a. College of Civil Engineering; 1b. Key Lab of Chinese Education Ministry for Construction and New Technology of Mountain Cities, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Chongqing Gaoxin Institute of Investigation and Design of Geotechnical Engineering, Chongqing 400042, P. R. China)

Abstract: Soil arching effect is important for stabilizing the soil behind anti-sliding pile. The creep of soil mass will inevitably lead to the formation of soil arching, which has time effect. In this analysis, an indoor thrust-pile model test is proposed. The characteristics of stress distribution in the soil and the time effect of soil arching behind anti-sliding pile are analyzed. The experimental data acquired by the soil pressure cells arranged along the normal direction of the thrust show that soil arching effect is enhanced with the increase of thrust. The thickness of soil arch increases with time. And the data obtained by soil pressure cells arranged along the direction of the thrust show that the horizontal soil arching effect increases and then gradually extends. The scope of stress dispersion has very large growth along the normal direction as time goes on.

Key words: anti-sliding pile; constant loading; soil arch; time effects; soil pressure; creep

1943年, Terza-ghi通过活动门试验^[1]证实了土拱效应的存在。随后,土拱理论在岩土工程界得到了越来越广泛地应用^[2],伴随土拱理论研究的不断深入,抗滑桩与其周边介质中的土拱效应也逐渐受到工程技术人员的重视。周德培^[3]根据桩间土拱的

静力平衡原理及拱脚土体的强度条件,推导了工程设计中桩间距、正截面宽度与土拱矢高之间的关系式。Chen^[4]、张建勋^[5]、琚晓冬^[6]、贾海莉^[7]、LiangR^[8]、董捷^[9]运用数值方法探讨了土体强度、桩间距等相关因素变化对土拱效应及桩土承载比的影

收稿日期:2010-09-03

基金项目:中央高校基本科研业务费(CDJZR10200005)资助

作者简介:王桂林(1970-),男,博士,副教授,主要从事岩土工程、地质工程研究,(E-mail)glw@cqu.edu.cn.

响。Pieter A^[10]、Hong S H^[11] 主要对悬臂式桩板墙的拱效应展开了三维数值分析。鉴于桩间土与抗滑桩力学机理相当复杂,桩间土拱效应真实的应力传递规律还不是很清楚,采用模型试验和数值模拟方法研究相对更为可靠。Lawrence、吴汉辉等先后通过模型试验对抗滑桩的拱效应作了相关研究^[12-13],杨明、姚令侃等通过离心机对抗滑桩的土拱效应也作了很详细的研究分析^[14]。上述模型试验加深了对桩间土拱效应的认识,但岩土体具有蠕变特性必然导致桩间土拱的形成具有一定的时效性,随着时间推移土拱效应处在一个变化的过程中。董捷^[15]提出采用突变效应替代常用的桩—土承载比衡量桩间土拱效应的强度及作用范围,在此基础上,总结三峡库区高切坡抗滑支挡结构常用的技术方法背景下,在对抗滑桩的工作机理及桩间土的传力特征进行综合分析的基础上,笔者设计了抗滑桩室内推桩模型试验,分析了1 kN、2 kN外推力条件下抗滑桩桩后土体内部的应力分布特征及土拱效应的时效性。

1 试验模型箱的设计

试验将模型桩安装于一定尺寸的木箱内,在桩后木箱一定范围内填放土体,在此过程中安装应力传感器、百分表及应变片等仪器,通过千斤顶控制土体内部所受到的推力,试验过程中记录桩间土的应力、应变、位移情况。通过该试验研究,可以较真实地反应抗滑桩土体内部的应力应变变化情况以及探讨抗滑桩土拱效应的时效性。

试验模型箱主要由底板、侧板和腹板构成。底板采用一块15 mm厚的防潮板,侧板材料为一块15 mm厚防潮板与一块细木工板粘合的复合板。模型箱主体长度为1 000 mm,模型箱2块侧板间的净距为600 mm,模型箱设计内侧箱高850 mm,抗滑桩高710 mm,嵌固槽深300 mm,模型桩固定在钢管框架内。嵌固槽布置了3根悬臂桩,回填土为粉砂土并夯实。模型箱底部嵌固槽两侧腹板的净距为190 mm,土体材料设计填高400 mm,模型尺寸如图1所示。由于模型推桩试验的水平设计荷载不超过10 kN且模型箱主要承受因桩后土体压缩产生的侧向膨胀力,为减小模型箱侧板在试验加载过程中产生的挠曲变形,模型箱四周用3圈角钢进行加固,拐角处采用焊接进行连接,采用不锈钢管、对拉螺纹钢加固模型箱的侧板上部^[16],制作好的模型箱和监测设备如图2所示。

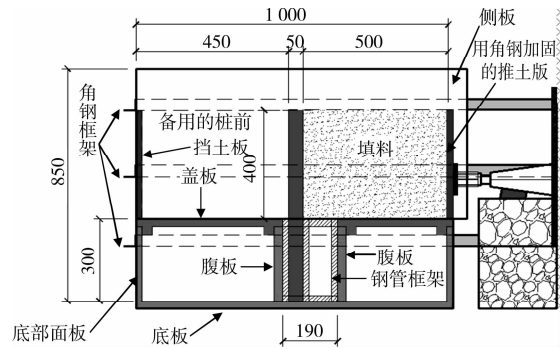


图1 模型试验剖面示意图



(a) 制作好的模型箱照片

(b) 监测设备照片

图2 制作好的模型箱和监测设备照片

2 外推力恒定条件下抗滑桩土拱效应的时效性试验研究

进行抗滑桩室内推桩模型试验时,模型箱内部土压力计位于填土高度130 mm的层面上,距填土顶面270 mm。在桩间沿法向和桩背沿推力方向分别布置了8个微型电阻应变式土压力计,从桩背平面算起,土压力计间距均为50 mm。土压力计的布置情况见图3,桩后土体土拱效应的时效性。每10 min记录一次百分表的读数和应变仪各个通道读数。通过记录百分表的读数可以得出推土板的位移,通过记录沿推力方向和法向的土压力计的读数,分析抗滑桩土体内部应力分布特征,进而分析土拱效应形成机理以及其时效性。



图3 土压力计布置情况

2.1 推土板位移测试数据分析

在1 kN和2 kN 2个不同外推力条件下,推土板后安置百分表,记录推土板的位移,推土板位移曲线

见图 4。通过曲线可以发现:当千斤顶刚加载至 1 kN 时,推土板位移为 13.59 mm,随着时间的推移推土板位移缓慢增大且趋于平稳,桩土体保持稳定;当千斤顶刚加载至 2 kN 的时候,推土板位移为 19.01 mm;推土板位移随时间的增加土体变形呈现不收敛急剧增大的趋势,模型桩的遮挡效应减弱。施加恒定荷载 2 kN,维持加载 150 min 后,悬臂桩严重倾斜且桩后土体位移较大,桩间土垮塌严重,桩背处土体开裂严重。

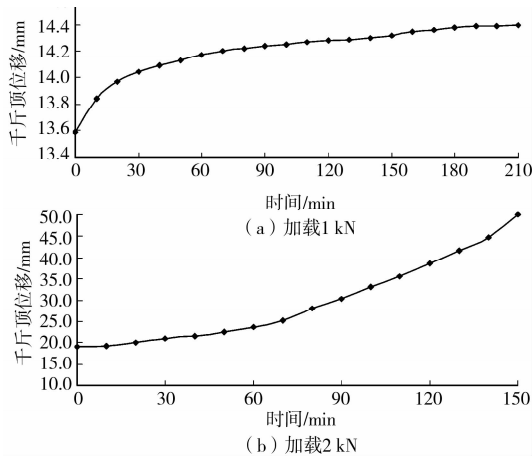


图 4 推土板位移曲线

综上所述,土拱效应不是固定不变的,它的形成过程具有明显的时效性,桩—土相对位移随着时间呈增大的趋势。土体受到的外推力越大,土体蠕变越明显。

2.2 土体内部法向应力测试分析

外推力恒定为 1 kN 的时候,在距桩 0~50 mm 土压力随时间的增长土压力值先增大后逐渐减小,这是由于刚开始在桩间形成摩擦土拱,其主要凭借密实的拱脚侧部及桩侧表面的摩擦阻力形成土拱。并且土拱楔紧加强,但是随着时间的推移,桩间土位移过大,土拱开始破坏,承载力开始下降,桩间土开始局部垮塌。在其他位置土压力随着时间的推移土压力值缓缓增加,说明土体法向的楔紧持续加强,土拱效应越来越明显。

外推力为 2 kN 时,土拱效应比外推力为 1 kN 时明显。桩前 0~50 mm 的土体土压力值在 0.1 kPa 左右,随着时间的推移,土压力值逐渐减小并且趋于零。这是由于桩间土体随着时间的推移沿悬臂桩侧面的相对位移较大,拱脚逐渐破坏,摩擦土拱效应消失,桩间土垮塌。在其他测试位置,土压力值逐渐减小。土拱效应相比不考虑蠕变情况下桩间土拱效应要弱一些。

对比分析外推力恒定 1 kN 和 2 kN 的 2 个工况,从图 5 曲线可以看出,随着时间的变化,桩间土

摩擦土拱破坏,易垮塌。随着时间的推移,桩后土体应力减小,土拱效应变弱,相对于不考虑蠕变情况下,考虑蠕变时,土拱影响范围更大、土拱厚度变大,应力沿着法向扩散的范围有很大的增长。

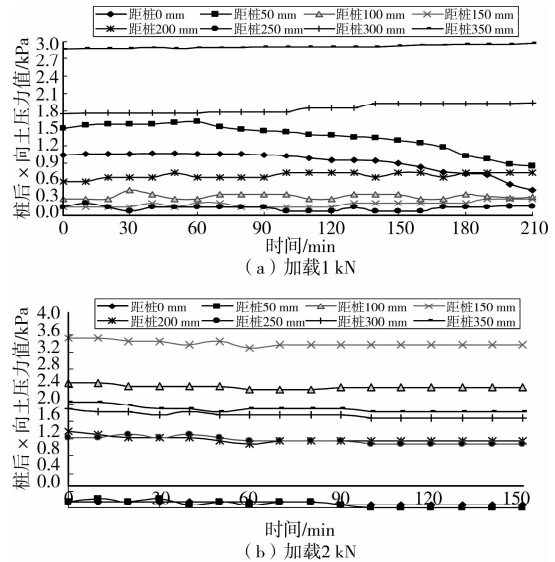


图 5 加载 1 kN、2 kN 试验法向土压力值曲线

2.3 土体内部推力方向的应力测试分析

抗滑桩的间距布置满足一定要求时,外推力荷载通过土体应力重分布并最终由桩承担。加载 1 kN、2 kN,沿推力方向土压力值曲线见图 6。外推力为 1 kN 时,桩背正后方 0 mm 土体受到桩体的约束,拱脚土体楔紧,承受的土压力较大,并且随着时间的增长楔紧效应在加强。桩后 50~300 mm 的位置位于土拱前的自由区,推土板的推力通过土拱传递到桩背,随着土拱效应的加强,自由区土体受到的推力逐渐减小。

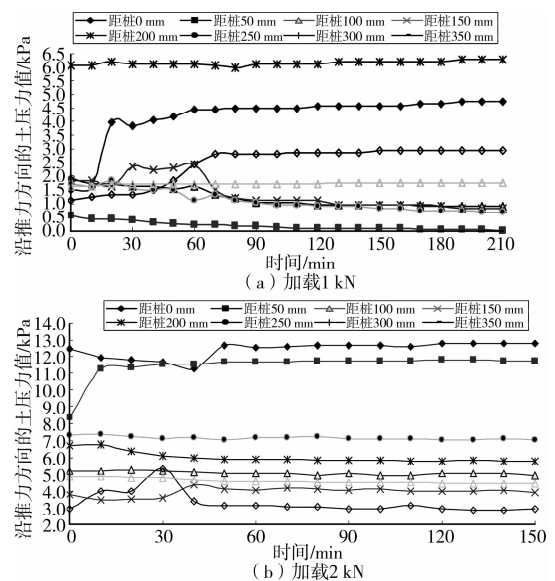


图 6 加载 1 kN、2 kN 试验沿推力方向土压力值曲线

外推力为 2 kN 的时候,桩背后 0~50 mm 范围内土体的土压力值最大,拱脚附近土体楔紧范围增大,主要是由于桩后和桩间土体不均匀变形所致。并且随着时间的推移土压力值持续增加,桩背处土拱效应增强;在 50~350 mm 范围内的土体的土压力值较大,随着时间的增长土压力值略微增大。说明随着时间的变化,土拱影响范围也增加。

对比发现,随着推力的增大,桩背土拱范围更大且土拱承载能力有较大的提高。水平土拱效应伴随推力增长呈现出先增强而后逐渐扩展的现象,应力沿着法向扩散的范围有很大的增长。

3 结 论

1) 桩—土相对位移随时间呈增大的趋势。施加恒定荷载 1 kN 的时候土体变形量很小,桩土体保持稳定;施加恒定荷载 2 kN,随着时间的推移土体变形呈现不收敛快速增长趋势。土体受到的外推力越大,土体的蠕变越明显。土拱效应不是固定不变的,它的形成过程具有明显的时效性。

2) 土体内部法向应力测试结果表明:土拱效应随着推力的增大而增强。随着时间的推移,桩间土摩擦土拱破坏,易垮塌。随着时间的推移,桩后土体应力减小,土拱效应变弱,相对于不考虑蠕变情况下,考虑蠕变时,土拱影响范围更大,土拱厚度变大,应力沿着法向扩散的范围有很大的增长。

3) 土体内部沿推力方向应力测试结果表明:随着推力的增大,桩背土拱范围更大且土拱承载能力有较大的提高。水平土拱效应伴随推力增长呈现出先增强而后逐渐扩展的现象。

参考文献:

- [1] TERZAGHI K. Theoretical Soil Mechanics[M]. New York: John Wiley & Son, 1943.
- [2] 王乾坤. 抗滑桩的桩间土拱和临界间距的探讨[J]. 武汉理工大学学报, 2005, 27(8): 64-67.
WANG QIAN-KUN. Discussion on the soil arching effect and the critical spacing between adjacent anti-slide piles [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 27(8): 64-67.
- [3] 周应华, 周德培, 冯君. 推力桩桩间土拱几何力学特性及桩间距的确定[J]. 岩土力学, 2006, 27(3): 455-457.
ZHOU YING-HUA, ZHOU DE-PEI, FENG JUN. Geometrically mechanical characters of soil arch between two adjacent laterally loaded piles and determination of suitable pile spacing[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(3): 455-457.
- [4] CHEN C Y, MARTIN G R. Soil-structure interaction for landslide stabilizing piles [J]. Computers and Geotechnics, 2002, 29(5): 363-386.
- [5] 张建勋, 陈福全, 简洪钰. 被动桩中土拱效应问题的数值分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(2): 174-178.
ZHANG JIAN-XUN, CHEN FU-QUAN, JIAN HONG-YU. Numerical analysis of soil arching effects in passive piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(2): 174-178.
- [6] 琚晓冬, 冯文娟, 朱金明. 桩后土拱作用范围研究[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2006, 28(3): 197-200.
JÜ XIAO-DONG, FENG WEN-JAN, ZHU JIN-MING. Research on affecting scope of soil arch behind anti-slide piles [J]. Journal of China Three Gorges University: Natural Sciences, 2006, 28(3): 197-200.
- [7] 贾海莉, 王成华, 李江洪. 关于土拱效应的几个问题[J]. 西南交通大学学报, 2003, 38(4): 398-402.
JIA HAI-LI, WANG CHENG-HUA, LI JIANG-HONG. Discussion on some issues in theory of soil arch [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2003, 38(4): 398-402.
- [8] LIANG R, ZENG S. Numerical study of soil arching mechanism in drilled shafts for slope stabilization [J]. Soil and Foundation, 2002, 42(2): 83-92.
- [9] 董捷, 张永兴, 文海家, 等. 悬臂式抗滑桩三维土拱效应研究[J]. 工程勘察, 2009(03): 8-13, 33.
DONG JIE, ZHANG YONG-XING, WEN HAI-JIA, et al. Research on three-dimensional soil arching effect between cantilever anti-slide piles [J]. Geotechnical investigation & Surveying, 2009(03): 8-13, 33.
- [10] PIETER A. VERMEER, ANKANA PUNLOR, et al. Arching effects behind a soldier pile wall [J]. Computers and Geotechnics, 2001, 28 (6/7): 379-396.
- [11] HONG S H, LEE F H, YONG K Y. Three-dimensional pile-soil interaction in soldier-piled excavations [J]. Computers and Geotechnics, 2003, 30 (1): 81-107.
- [12] LAWRENCE. The Mechanism of Load Transfer in Granular Materials Utilizing Tactile Pressure Sensor [D]. Massachusetts: University of Massachusetts Lowell, 2002.
- [13] 吴汉辉. 埋入式抗滑桩模型试验及其工作机理研究 [D]. 重庆: 重庆大学土木工程学院, 2004: 15-75.
- [14] 杨明, 姚令侃, 王广军. 桩间土拱效应离心模型试验及数值模拟研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(3): 817-822.
YANG MING, YAO LING-KAN, WANG GUANG-JUN. Soil arching effect between piles centrifuge model tests and numerical simulation study [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 29(3): 817-822.
- [15] 董捷, 张永兴, 吴汉辉. 考虑滑体法向应力突变的阻滑桩成拱效应研究[J]. 地质与勘探, 2008, 44(6): 97-102.
DONG JIE, ZHANG YONG-XING, WU HAN-HUI. Soil arching effect among anti-slide piles with consideration of normal stress mutability in sliding mass [J]. Geology and Prospecting, 2008, 44(6): 97-102.
- [16] 董捷. 悬臂桩三维土拱效应及嵌固段地基反力研究 [D]. 重庆: 重庆大学土木工程学院, 2009: 16-24.