

挤扩支盘桩试验研究进展

王胜¹, 张成富¹, 孟凡臣², 朱宁³, 史仕荧⁴

(1.中海油能源发展股份有限公司 工程技术分公司,天津 300452;2.中国石油集团渤海钻探工程有限公司 苏里格分公司,内蒙古 乌审旗 017300;3.山东省鲁南地质工程勘察院(山东省地质矿产勘查开发局第二地质大队),山东 济宁 272000;4.中国科学院 力学研究所,北京 100190)

摘要:在挤扩支盘桩越来越受到重视的背景下,综述了挤扩支盘桩的试验研究进展。介绍了实物试验和数值试验两类方法的研究现状,并深入分析了两类方法的优缺点。最后提出实物试验与数值模拟两种方法相结合,形成优势互补,是目前高效开展挤扩支盘桩研究的一种切实可行的方法。

关键词:挤扩支盘桩;实物试验;数值模拟试验;研究进展

中图分类号:TU 473.1

文献标志码:A

文章编号:1002-2333(2022)09-0102-03

Experimental Study Progress about Squeezed Branch and Plate Pile

WANG Sheng¹, ZHANG Chengfu¹, MENG Fanchen², ZHU Ning³, SHI Shiyang⁴

(1. CNOOC Energy Development Co., Ltd., Engineering Technology Branch, Tianjin 300452, China; 2. Sulige Branch, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Sulige 017300, China; 3. Shandong Lunan Geological Engineering Survey Institute (the Second Geological Brigade of Shandong Geological and Mineral Exploration and Development Bureau), Jining 272000, China; 4. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China)

Abstract: Under the background that squeezed branch and plate pile has been paid more and more attention, the experimental research progress of squeezed branch and plate pile is reviewed. The research status of the two methods of physical test and numerical test is introduced, and the advantages and disadvantages of the two methods are deeply analyzed. Finally, the combination of physical test and numerical simulation is proposed to form complementary advantages, which is a practical and feasible method to efficiently carry out squeezed branch and plate pile research.

Keywords: squeezed branch and plate pile; physical test; numerical simulation test; research progress

0 引言

挤扩支盘桩,又称为DX桩,是20世纪90年代初发展起来的一种新型桩基础,其根据仿生原理(树根构造)在传统等截面钻孔灌注桩的基础上演变而来^[1]。其成桩第一步采用普通钻机形成等截面钻孔桩,然后根据不同土层的特性利用专用挤扩装置在桩身不同深度部位挤密出若干承力盘或分支,然后放入钢筋笼并浇筑混凝土成挤扩支盘桩^[2]。通过承力盘或分支的端承作用,桩端承载力大大提高,且位移量大大减小^[3]。除此之外,挤扩支盘桩还具造价低、工期短、桩基安全性高等优点,有较好的经济技术效果^[4]。

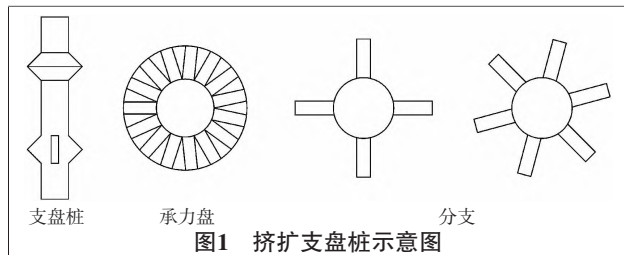


图1 挤扩支盘桩示意图

对于这种在工程项目上获得广泛关注的新型桩,理论研究还不成熟,通过试验来研究其荷载传递机理、承载力性能和破坏模式等是目前常用的方法。该文主要综述了挤扩支盘桩的基本试验方法,从实物试验(包括现场试

验和室内小尺度模拟试验)、数值试验三个角度系统介绍了试验设计方法,为新进入挤扩支盘桩研究领域的学者提供一个整体的概念。

1 挤扩支盘桩的实物试验

在对挤扩支盘桩的众多研究中,实物试验是一种研究方法,分为现场实物试验和室内实物模拟试验。现场试验能真实反映挤扩支盘桩在应用中的性能,从而为后期应用提供施工经验;室内模拟试验可以根据需要进行很灵活的设计,可以做小尺度试验以节省成本,还能利用现代化的测试设备开展各种性能试验、对比试验以得到最优结构^[5-6]。

在实物试验时,根据荷载类型的不同,试验系统设计也不同。荷载主要有如下几种类型:下压+水平联合工况、上拔+水平联合工况、水平荷载、下压荷载等。目前关于下压荷载的研究较多,其试验系统大都采用图2所示的方法,利用电子位移传感器记录桩的位移,测力传感器测量应力。其中测力传感器的布置是关键,在承力盘上下界面上布置传感器可得到承力盘的承载性能,在主筋上安装可以得到桩身轴力信息并研究挤扩支盘桩Q-S曲线、荷载传递机理等。实物试验中利用土压力盒还可测量土体与基础之间压力的变化^[9]。

其中:对于上拔荷载的试验设计与图2所示的设置类

似,即主要在桩轴线上施加载荷;对于具有水平载荷的室内试验设计需要在水平方向上施加载荷,肖琦^[5]的试验方法如图3所示,亦采用千斤顶加载水平载荷,与图2不同的是,需要添加反力基础给试验桩提供水平反力,从而研究输电线路等工程挤扩支盘桩在承受水平载荷时的性能。

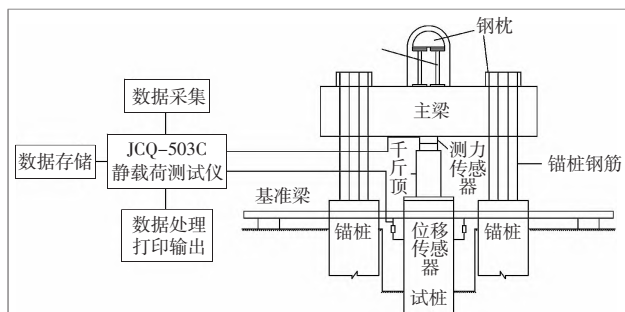


图2 挤扩支盘桩室内试验系统示意图

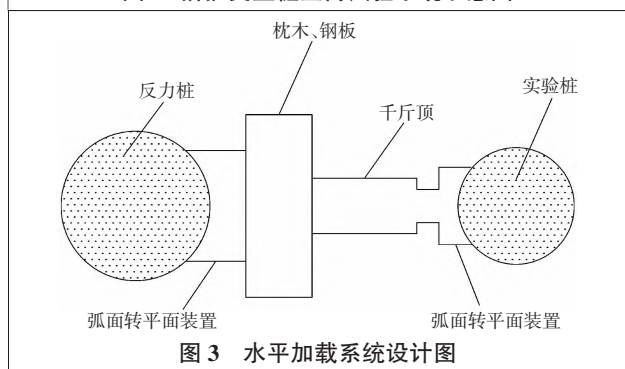


图3 水平加载系统设计图

在试验系统搭建完毕后,为获得挤扩支盘桩荷载传递机理、承载力等性能,涉及到如何加载和卸载。对于施加载荷的方法目前大多采用慢速维持荷载法,即逐级加载,并在加载时保证荷载传递均匀、连续、无冲击,当每级荷载达到相对稳定后记录沉降量和应力,然后施加下一级荷载^[10]。卸载时,亦逐级卸载。卸载清零后,维持一段时间,测读桩顶残余沉降量。每级加载和卸载时,间隔记录各测试设备的数值,直到沉降量在一定时间前后相邻两次读数之差小于0.1 mm可视为稳定^[10],并进行下一步加载或者卸载。同时,根据建筑地基基础单桩设计规范,当桩顶位移达到40 mm时,终止加载^[11]。

从上面的叙述可以看出,由于不允许破坏工程桩,为获得工程桩的极限荷载,一般通过模拟、推算等方法来估算。

在对挤扩支盘桩的破坏模式研究中,大都认为在成桩质量较好的情况下,主要是土体的破坏。现阶段关于土体破坏形式的研究主要基于如下试验方法:搭建半面桩小型试件试验系统,采用钢化玻璃缸装黏性土并埋置试件,然后加载,同时用数码相机拍摄试验前后桩土的状态及土的破坏形式,最后用媒体计算机处理拍摄照片以得到土体位移的变化情况,分析土体破坏形式^[8]。为减少玻璃摩擦带来的试验误差,王成武等^[12]在玻璃的内表面涂上硅油后拍照,得到土体位移的变化情况。上述试验方法发展到现场大比例半截面实桩试验,在半截面桩一侧利用固定好的钢化玻璃罩住,然后对半截面桩进行静载试

验,得到荷载、位移等数据,并观察桩土的状态^[13]。

上述室内小尺度实验虽然能获得土体的破坏形式,但是由于影响因素众多,在进行小尺度的模拟试验时,应进行相似准则分析,选用最重要的无量纲数进行缩尺度,但是目前的调研发现,很少学者开展这方面的工作;且尺度小,与真实的土体、桩体仍然不同,试验结果对于大尺度的桩体是否适用仍然存在问题。

2 挤扩支盘桩的数值模拟试验

随着计算机技术的迅猛发展和数值计算方法的不断提高,使得数值模拟中的巨型计算成为可能,促进了数值模拟成为挤扩支盘桩的一种研究方法,不少学者采用这种手段对其工作机理进行了研究,从而节省了研究成本、缩短了研究周期^[14]。巨玉文等^[15]采用荷载传递函数自行编程推求挤扩支盘桩顶荷载 Q -桩顶沉降 s 曲线;米晓庆等^[16-17]采用基于有限差分分析软件FLAC对挤扩支盘桩进行了数值计算;苏小培等^[18]采用基于有限元分析软件MIDAS/GTS研究了不同支盘直径、桩间距等对支盘性能影响;王坤等^[14]采用MARC有限元软件获得了挤扩支盘桩在下压荷载下桩身轴力传递规律等;巨玉文等^[19]、唐孟雄等^[20]通过ANSYS有限元软件研究了支盘间距等对其工作性能的影响;高笑娟等^[7]、王伊丽等^[21-22]借助ABAQUS软件进行了挤扩支盘桩的相关研究。从上述调研可以发现,目前采用自行编程获得的信息较少,利用这种方法的学者少;大部分研究采用基于有限差分或有限元的数值模拟软件进行计算^[12,21,23]。

在进行数值模拟的时候,通常先建立物理模型,然后划分网格求解。物理模型建立的正确与否,与计算结果是否可靠息息相关。

对于物理模型计算域的选择,为保证边界条件对计算结果的影响较小,根据弹性理论,单桩的水平边界取 $6D\sim 60D$ (D 为主桩直径)之间^[24]。大多数学者建立的物理模型均在此范围内,如王坤等^[14]建立桩侧水平土体大约 $10D$ 的三维空间作为物理模型;苏小培等^[18]在研究单排桩取水平边界 $20D$ 约束其水平位移;米晓庆等^[16]、王伊丽等^[21]取约 $15D$ 桩径为水平边界;对于桩底土体深度,有取 $10D$,也有取50%桩长、60%桩长,还有取1倍桩长,根据文献调研来看,很多文献将桩底土体深度取为1倍桩长左右,以满足计算精度^[25]。

随着计算机的发展,三维模型对于具有分支结构的挤扩支盘桩计算更能贴近实际,采用三维模型成为研究的主流^[10,17]。对于三维模型边界条件设置问题,一般将桩顶端设置为自由面,桩周土体边界上施加 x 、 y 、 z 方向的0位移约束,桩底土体边界上施加 x 、 y 方向的0位移约束。在建立模型后划分网格时,一般需要在桩身、桩端和承力盘部位进行局部加密。

桩体模型采用线弹性材料,各向同性;土体选用理想弹塑性材料,Mohr-Coulomb本构模型进行分析,桩土接触面设置为摩擦因数不变的接触单元,从而模拟桩-土相互作用的物理力学特性。计算时,在桩顶中心处施加下压荷载,用时间步数模拟逐级加载过程^[22]。

采用数值模拟的方法能够获得实物试验所不能得到的信息,如桩身任一点处的位移、轴力等,但是数值模拟的结果是否可靠仍然需要试验的检验^[4]。

3 结论

为扩大挤扩支盘桩的使用范围和系统了解这种新型桩的工作机理,对于挤扩支盘桩的试验设计逐渐从定性设计转变为定量设计,研究范围逐渐从单一载荷转变为多种载荷,研究对象逐渐从桩本身发展到关注桩土耦合效应,研究内容逐渐从单一方面走向系统。

在理论研究还不成熟的前提下,试验研究就显得尤为重要。目前对于挤扩支盘桩如何确定极限承载力的实物试验方法有待发展,如何设计小尺度实验从而为工程实践提供有实际指导价值的的数据仍有待完善。在现阶段,将实物试验和数值模拟试验结合起来,即采用实物试验获得基本的数据,从而为数值模拟方法的验证提供参考,然后利用数值模拟开展系统的研究,是一种经济快速的研究方法。可以利用这种方法开展对比性试验、载荷传递规律等系统试验,为高效开展挤扩支盘桩的理论、设计和现场应用研究服务。

[参考文献]

- [1] MOHAN D,MUTHY V N S,JAIN G S.Design and Construction of Multi-under Reamed Piles[C]// Professional 7th ICSMFE 2.1969: 183-186.
- [2] 孙洪宇,齐秋平.工程用挤扩支盘桩承载性能分析[J].吉林电力,2015,43(5):5-8.
- [3] SEOH BASU D,PRESZIM Load-settlement Response of Rectangular and Circular Piles in Multilayered Soil[J].Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,2009,135(3):420-430.
- [4] 朱文通,李海青,何潇,等.孤石地质条件下挤扩支盘桩沉降变形特性分析[J].公路,2020,65(10):133-137.
- [5] 肖琦,王德弘,徐晶.输电线路挤扩支盘桩受力特性的试验研究[J].实验力学,2015,30(1):124-130.
- [6] 陈飞,黄晓琴.挤扩支盘灌注桩作用机理与应用[J].施工技术,2007(增刊1):53-55.
- [7] 高笑娟,吕冰.水平振动荷载作用下支盘桩承载形状研究[J].中外公路,2015,35(3):35-40.
- [8] 钱永梅,尹新生,钟春玲,等.挤扩支盘桩土体破坏机理的试验研究[J].岩土工程界,2003,6(12):78-80.

(上接第101页)

造与重用、营造工业领域基于模型知识的“Know-how”仿真新生态,推进仿真体系建设,进一步健全企业业务能力,从流程、标准和价值的维度,对思维方式、模型转化、运营能力、数字融合方向聚焦主航道,增强企业数字化战斗力,愿抛砖引玉更将迸发出前所未有的行业新价值。

[参考文献]

- [1] 孟柳,延建林,董星辰,等.智能制造总体架构探析[J].中国工程科学,2018,20(4):23-28.
- [2] 刘平峰,张旺.数字技术如何赋能制造业全要素生产率?[J].科学学研究,2021,39(8):1396-1406.
- [3] 程实,李跃华,陈晓勇,等.云计算架构下的虚拟仿真实验平台建设

- [9] 巨玉文,梁仁旺,白晓红,等.挤扩支盘桩承载变形特性的试验研究及承载力计算[J].工程力学,2003,20(6):34-38.
- [10] 高笑娟.挤扩支盘桩承载性状试验和数值模拟分析[D].杭州:浙江大学,2007.
- [11] 万林海,郭鹏,吴伟功.变截面挤扩桩承载特性的数值模拟[J].山西建筑,2005,31(17):1-2.
- [12] 王成武,余跃心,龚成中.砂土中支盘桩静载模型试验及数值模拟[J].工程勘察,2015(8):11-14.
- [13] 钱永梅,徐广涵.挤扩支盘桩试验研究的发展概述[J].建筑技术开发,2014,41(11):22-24.
- [14] 王坤,张连杰,化得钧,等.竖向荷载下挤扩支盘桩数值模拟计算与分析[J].交通科学与工程,2012,28(3):32-36.
- [15] 巨玉文,梁仁旺,赵明伟.挤扩支盘桩的载荷传递法及数值模拟[J].建筑技术,2004,35(3):204-205.
- [16] 米晓庆,朱杰江.挤扩支盘桩的数值模拟以及变刚度调平应用[J].上海大学学报,2011,17(3):325-330.
- [17] 王树仁,李启民,武崇福,张延新.荷载作用下挤扩支盘桩支护特性数值模拟分析[J].岩土力学,2007,28(增刊1):658-662.
- [18] 苏小培,刘斯坦,冉志红.大直径支盘桩承载特性的有限元分析[J].路基工程,2015(2):13-16.
- [19] 巨玉文.挤扩支盘桩力学特性的试验研究及理论分析[D].太原:太原理工大学,2005.
- [20] 唐孟雄,李森.挤扩支盘桩抗拔承载力的有限元分析[J].岩土工程技术,2008,22(5):227-231.
- [21] 王伊丽,徐良英,李碧青,等.挤扩支盘桩竖向承载力特性和影响因素的数值研究[J].土木工程学报,2015,48(2):158-162.
- [22] 寇海磊,张明义,白晓宇,等.新型压扩多支盘灌注桩的数值模拟分析[J].地下空间与工程学报,2012,8(3):602-607.
- [23] SHID Q,XIAO J,YANG C,et al.Research on the Plate Cavity Geometry of the Squeezed Branch Pile[J].Procedia Engineering,2014,73:29-34.
- [24] 赵明伟.竖向荷载作用下挤扩支盘桩的试验研究与理论分析[D].太原:太原理工大学,2002.
- [25] 丰土根,宋海洋,王路博,等.等径桩、挤扩支盘桩相互作用系数数值研究[J].河南科学,2015,33(10):1777-1781.

(编辑 邵明涛)

作者简介:王胜(1982—),男,硕士,高级工程师,从事油田采油工艺研究工作。

收稿日期:2022-01-19

设[J].实验室研究与探索,2020,39(12):238-241.

- [4] 许本胜,黄美发,景晖,等.基于拟蒙特卡罗方法的三维公差综合仿真[J].中国机械工程,2013,24(12):1581-1586.
- [6] 赵男男.云计算平台中非定期任务并行调度仿真[J].计算机仿真,2021,38(1):481-485.

(编辑 马忠臣)

作者简介:赵幼芳(1981—),女,硕士研究生,讲师,从事智能焊接技术、数控技术、人工智能等教学与研究工作;

周蓝海(1980—),男,硕士研究生,工程师,从事人工智能、数字化工厂、数控技术等工作。

收稿日期:2021-11-30