

DOI: 10.11835/j.issn.2096-6717.2023.123



开放科学(资源服务)标识码 OSID:



螺牙高度对螺纹桩竖向承载特性的影响

徐丽娜^{1,2,3a}, 齐晨晖^{3b}, 郑俊杰¹, 黄占芳⁴, 孙爽^{3a}

(1. 武汉大学土木建筑工程学院, 武汉 430072; 2. 中铁十一局集团有限公司, 武汉 430061; 3. 吉林建筑大学 a. 交通科学与工程学院; b. 土木工程学院, 长春 130118; 4. 山东理工大学 建筑工程与空间信息学院, 山东 淄博 255000)

摘要:为探明竖向荷载作用下螺牙高度对螺纹桩承载特性及桩周土体的影响,通过室内半面模型桩试验,结合数字图像相关技术(DIC),研究了不同螺牙高度、不同荷载条件对桩身承载性能、桩周土体破坏特征、桩周土体位移场的影响。采用ABAQUS数值模拟方法对模型试验的结果进行验证,并扩展了螺牙高度的取值范围,分析螺纹桩桩身极限承载力与材料利用率、桩周土体应力场分布随螺牙高度变化的规律。结果表明:增加螺牙高度能提升桩身承载力,增大桩周土体位移影响范围,延缓桩侧土体剪切破坏的发展;随着桩身沉降量增加,桩顶荷载以桩侧阻力承受为主,逐渐演变为以桩端阻力承受为主;螺牙高度的增加虽然能提升桩身极限承载力,但桩身材料利用率存在峰值。

关键词:螺纹桩;螺牙高度;模型试验;数字相关技术;位移场

中图分类号: TU473.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-6717(2025)01-0036-10

Influence of screw height on vertical bearing characteristics of threaded pile

XU Lina^{1,2,3a}, QI Chenhui^{3b}, ZHENG Junjie¹, HUANG Zhanfang⁴, SUN Shuang^{3a}

(1. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China; 2. China Railway 11th Bureau Group Co., LTD., Wuhan 430061, P. R. China; 3a. School of Transportation Science and Engineering; 3b. School of Civil Engineering, Jilin Jianzhu University, Changchun 130118, P. R. China; 4. School of Civil Engineering and Geomatics, Shandong University of Technology, Zibo 255000, Shandong, P. R. China)

Abstract: In order to find out the influence of screw height on bearing characteristics of threaded pile and soil around the pile under vertical loading, this paper studied the influence of different screw heights on the bearing performance of pile, soil failure characteristics around the pile and soil displacement field around the pile through laboratory half-surface model pile test combined with digital image correlation (DIC) technique. The ABAQUS numerical simulation method was used to validate the results of the model test, and the range of screw height values was extended. The pattern of the ultimate bearing capacity and material utilization rate of threaded pile as

收稿日期: 2023-08-24

基金项目: 国家自然科学基金(52008185)

作者简介: 徐丽娜(1986-),女,博士,副教授,主要从事桩基工程研究, E-mail: xulina@jlju.edu.cn.

孙爽(通信作者),女,博士, E-mail: sunshuang@jlju.edu.cn.

Received: 2023-08-24

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No.52008185)

Author brief: XU Lina (1986-), PhD, associate professor, main research interest: pile foundation engineering, E-mail: xulina@jlju.edu.cn.

SUN Shuang (corresponding author), PhD, E-mail: sunshuang@jlju.edu.cn.

well as the distribution of soil stress field around the pile were analyzed. The results show that the utilization bearing capacity of pile is increased, the influential zone of the soil displacement around the pile gradually increased and the development of shear failure of soil around the pile can be delayed with increase of the screw height. As the settlement of the pile body increases, the loading on the pile top gradually evolves from being borne by the pile side resistance to borne by the pile end resistance. Although increasing the screw height can enhance the ultimate bearing capacity of pile, there is a peak in the material utilization rate of the pile.

Keywords: threaded pile; screw height; model test; digital correlation technology; displacement field

螺纹桩是一种新桩型,螺纹结构的存在,增大了桩-土间的作用面,大幅提升了桩的侧摩阻力和竖向承载力,近年来在房屋建筑工程、交通工程基础设施、地下工程建设等领域中得到应用^[1-3]。与传统直桩相比,螺纹桩的桩身结构具有明显优势,桩身承载力提高明显。孟振等^[4]研究发现,与普通直桩相比,螺纹桩竖向极限承载力约提升 3 倍。Chen 等^[5-6]研究了螺杆桩在砂土中的承载性能,发现桩的螺杆截面和最底螺纹对桩的承载力影响较大。Ho 等^[7]认为螺旋桩下存在较大的影响区域,产生了较高的抗剪强度,有利于提高端部承载力。钱建固等^[8]通过大型接触面剪切试验发现,螺纹间距存在最优值,能够形成最大拱形破坏面,从而发挥桩土界面的最大剪切强度。

螺纹桩螺牙参数较多,各参数变化对桩身承载性能均有不同程度的影响。王国才等^[9-10]、王斌等^[11]通过模型试验和数值模拟的方法,研究了 S/D (螺距/主桩直径)对螺纹桩极限承载力的影响,发现 S/D 取 1 时,极限承载力最高,桩周土体形成的连续拱形破坏区域最大。陈亚东等^[12]通过离散元数值模拟,研究了螺距、螺纹段长度对螺杆桩承载特性的影响,发现螺距为 1.0~1.33 倍桩径时,螺杆桩具有最佳的承载性能。董俊利等^[13]基于室内缩尺模型试验与 Abaqus 数值仿真,通过分析螺纹桩几何尺寸对桩土应力比的影响规律发现,桩土应力比随 h/D (螺纹间距/主桩直径)的增加先增大后减小,随 w/D (螺纹宽度/主桩直径)的增加而增大。Saleem 等^[14]通过模型试验发现,随着螺纹桩直径的增加,对地面的扰动和桩身承载力增大。周杨等^[15]研究了变截面螺纹桩的承载特性,发现桩身截面变化率也是影响

单桩竖向承载力的一个重要因素之一。综上所述,螺纹间距、螺距、螺纹宽度、螺纹桩直径等结构参数都是影响螺纹桩竖向承载性能的主要因素,但目前关于螺牙高度对螺纹桩承载性能影响方面的研究相对较少。

为了深入研究螺牙高度对螺纹桩竖向承载特性的影响,笔者通过室内试验及数值模拟方法分析桩身承载力和桩周土体的破坏状态,研究不同位置处土体的位移情况,探讨螺牙高度对桩身承载性能及桩周土体位移分布规律的影响。

1 模型试验

1.1 模型桩

模型桩为半面钢制螺纹桩,如图 1 所示。桩身长 250 mm,主桩直径为 16 mm,螺纹段距桩顶 60 mm,距桩底 10 mm。根据螺牙高度的不同一共设置了 4 组模型桩,具体参数见表 1。

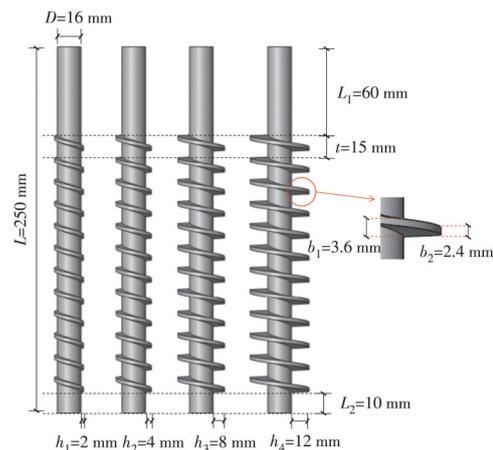


图 1 模型桩

Fig. 1 Model pile

表 1 模型桩尺寸参数

Table 1 Size parameters of model pile

| 编号 | 螺牙内侧厚度 b_1 /mm | 螺牙外侧厚度 b_2 /mm | 螺牙高度 h /mm | 螺距 t /mm | 螺纹段到桩顶距离 L_1 /mm | 螺纹段长 L_2 /mm |
|----|------------------|------------------|--------------|------------|--------------------|----------------|
| 1 | 3.6 | 2.4 | 2 | 15 | 60 | 180 |
| 2 | 3.6 | 2.4 | 4 | 15 | 60 | 180 |
| 3 | 3.6 | 2.4 | 8 | 15 | 60 | 180 |
| 4 | 3.6 | 2.4 | 12 | 15 | 60 | 180 |

1.2 试验用土

试验用土选自长春市某施工场地内基坑中的原状低液限黏土。试验用土的取样方法^[16]:首先进行场地平整,然后将取土器(内部尺寸为 350 mm×300 mm×300 mm)放在平整后的场地上,随后用液压设备将取土器压入基坑,而后将其挖出,清理表面并用塑料膜包裹土样,防止水分蒸发,待试验开始前打开使用,如图 2 所示。试验用土的基本物理力学参数见表 2。



图 2 试验用土
Fig.2 Test soil

表 2 试验用土的基本物理力学参数

Table 2 Basic physical and mechanical properties of test soil

| 密度/ (g/cm ³) | 含水 率/% | 液限/ % | 塑限/ % | 内摩擦 角/(°) | 黏聚力/ kPa |
|-----------------------------|-----------|----------|----------|--------------|-------------|
| 1.989 | 31.188 | 38.753 | 22.755 | 14.5 | 30 |

1.3 试验方法

采用室内半面模型桩试验与数字图像相关技术(Digital Image Correlation,简称 DIC 技术)相结合的方法,实现桩周土体的位移和破坏状态的持续动态监测,从而得到桩周土体的移动规律^[17]。首先,将模型桩放置在土体中,而后在土体表面喷涂白漆,并设置黑色散斑点^[18],如图 3 所示,最后使用钢化玻璃固定观测面,整体模型装置效果如图 4 所示。

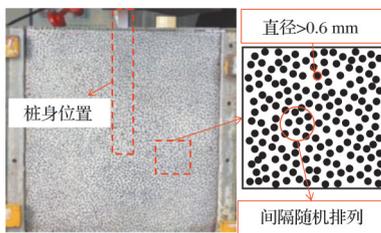


图 3 土体表面图
Fig.3 Soil surface

图 5 为整个试验测试系统。图像采集系统由高清摄像头、LED 聚光灯和计算机处理系统组成,高清摄像头拍摄速率为 1 张照片/250 ms,加载系统由小型千斤顶和数显百分表组成,试验中竖向荷载采用小型千斤顶垂直作用于桩顶,每下沉 0.2 mm 记录一次荷载,直至桩身下沉 10 mm 时停止加载^[19]。

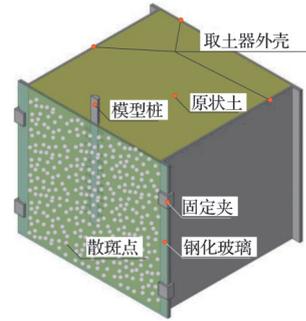


图 4 模型装置示意图

Fig.4 Schematic diagram of model test

通过 VIC-3D 非接触式全场应变测量设备的高清摄像头对观测面拍摄高清照片,由计算机处理系统分析表面黑色散斑点的水平、竖向移动情况,从而得到整个可观侧面土体的移动情况。

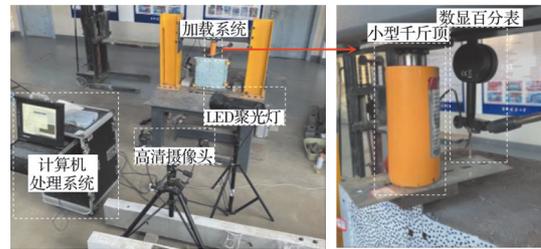


图 5 测试装置全景

Fig.5 Test apparatus panorama

1.4 试验结果与分析

1.4.1 荷载-沉降曲线

图 6 为模型桩试验获得的荷载-沉降曲线。由图 6 可知,4 组模型桩的荷载-沉降曲线趋势一致,随着荷载的增加,桩身沉降量逐渐增大。将斜率变化量最大的点位对应的荷载作为该桩的极限承载力,得到 4 组模型桩的极限承载力分别为 0.359、0.535、0.699、0.936 kN,由此可见,随着螺牙高度的增加,极限承载力有所提高,与螺牙高度为 2 mm 的第 1 组模型桩相比,后 3 组模型桩的极限承载力分别提高了 49%、94.7%、160.7%。

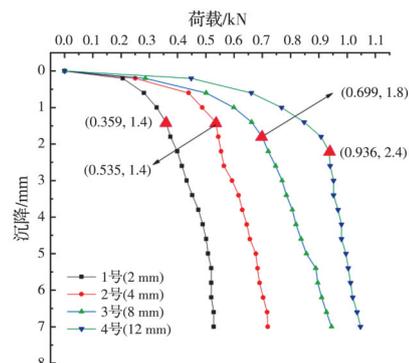


图 6 1~4 号桩荷载-沉降曲线

Fig.6 Load-settlement curves of piles No. 1-4

1.4.2 桩周土体破坏分析

1) 桩周土体破坏过程

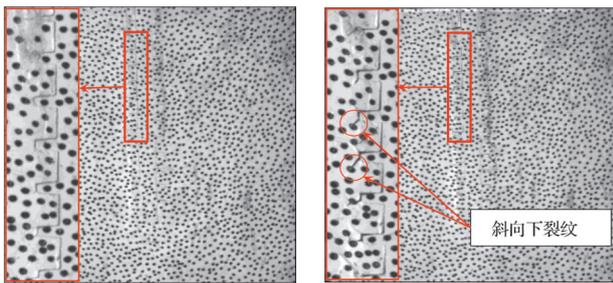
将桩侧土体命名为螺牙上土体、螺牙下土体、螺牙外土体,相邻螺牙间的螺牙上、螺牙下土体合并,统称为螺牙内土体,如图 7 所示。



图 7 螺牙周围土体命名

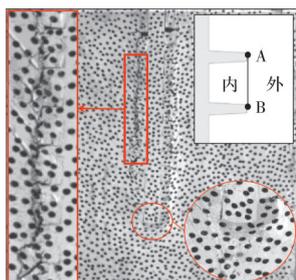
Fig. 7 Naming of soil around screw

4 组模型桩加载过程中,桩周土体破坏状态较为一致,以 3 号桩为例进行分析,如图 8 所示。由图 8 可知,当桩身下沉 1 mm 时,桩侧土体无明显的破坏现象,此时螺牙与土体的机械咬合力发挥作用。当桩身下沉 4 mm 时,螺牙外边沿侧的土体开始出现斜向下发展的裂纹,此时咬合作用逐渐受螺牙剪切作用的影响而逐渐减弱。当桩身下沉 6 mm 时,螺牙外边沿处的裂纹发展为裂缝,上下螺牙间的裂缝相互连接,即 AB 段裂缝完全贯通,此时螺牙内外土体发生剪切破坏。由于桩身下沉,螺牙内外土体发



(a) 桩身下沉 1 mm

(b) 桩身下沉 4 mm



(c) 桩身下沉 6 mm

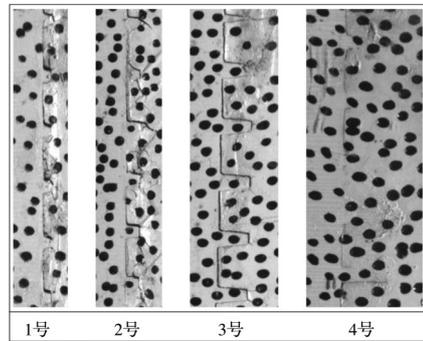
图 8 桩周土体的破坏过程(3号桩)

Fig. 8 Failure process of soil around pile No. 3

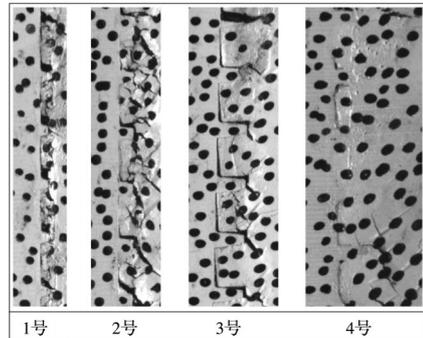
生相对移动而产生的抗剪力提供了桩侧阻力^[20]。

2) 螺牙高度对桩周土体破坏的影响

图 9 为 1~4 号桩桩身分别下沉 1、4 mm 时桩侧土体的破坏状态,由图 9 可知,桩身下沉 1 mm 时,1 号桩螺牙上侧出现了明显裂隙,螺牙内土体受到压缩,2 号桩侧出现了斜向裂纹,3 号桩出现了轻微裂隙,4 号桩无明显的破坏。当桩身下沉 4 mm 时,1、2 号桩螺牙外侧均产生了明显的贯通裂隙,且 2、3 号桩螺牙外边沿处出现斜向裂纹,4 号桩只有个别螺牙外边沿出现斜向裂纹。由此可见,增加螺牙高度可以延缓螺牙内外土体的剪切破坏进程,延长螺牙与土体的咬合作用持续的时间,提高桩身承载力。



(a) 桩身下沉 1 mm



(b) 桩身下沉 4 mm

图 9 螺牙高度对桩侧土体破坏状态的影响

Fig. 9 Influence of screw height on soil failure

1.5 桩周土体的位移分析

为了更清晰地获得桩周土体在竖向荷载下的移动规律,采用数字图像技术对土体表面进行监测,在桩周设置一系列点位(如图 10 所示),用以反映土体的移动情况。其中,英文字母代表竖轴,数字代表横轴,例如,C2 表示竖向的 C 轴与横向的 2 轴交界的点位。

1.5.1 桩周土体位移

以 3 号桩(螺牙高度为 8 mm)为例,选取了 C2、C5、C11、E2、E5、E11、H2、H5、H11 点位,对各点位

的水平、竖向位移进行对比分析,以此得到螺纹桩桩周土体在竖向荷载下的移动规律。

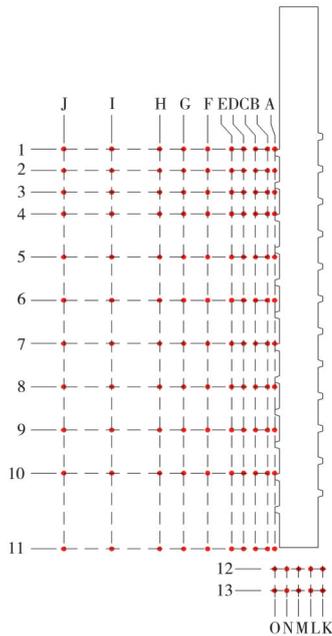


图 10 桩周土选取点位示意图(以 1 号桩为例绘制)
Fig. 10 Schematic diagram of selected points of soil around pile (drawing with pile No. 1 as an example)

1) 水平方向

图 11 为 3 号桩侧部分点位的水平位移。由图 11 可知,在竖向荷载作用下,桩周土体水平位移曲线整体分为 3 个阶段。阶段 I 中,各点均向桩身外侧移动,距桩身较远的点位(H 列)水平移动较小,与桩身较近的点位(C、E 列)移动幅度较大。阶段 II 中,距离桩身较远处的 H 列各点有明显的回移;距离桩身较近的 C 列点位以及相对于桩身较下位置的 E11 在此荷载区间较为稳定。阶段 III 中,除 C11、E11 产生持续背离桩身的移动外,其余各点位水平移动趋于稳定。

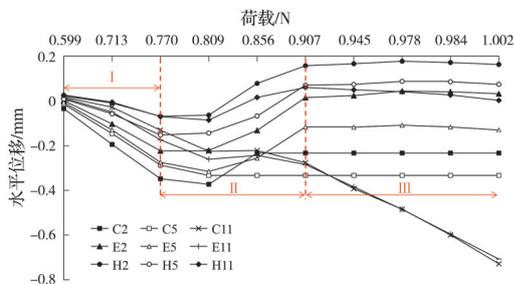


图 11 桩周土体水平位移
Fig. 11 Horizontal displacement of soil around pile

2) 竖直方向

图 12 为 3 号桩侧部分土体的竖向位移。由图 12 可知,随荷载的增加,距桩身 40 mm 的 H2、H5、H11 点在出现约 0.6 mm 的竖向位移后稳定;距

桩身 20 mm 的 E2、E5 点下降 1.3 mm 后稳定, E11 点在加载过程中缓速下移,最大位移量为 2.04 mm;距离桩身 10 mm 的 C 列各点位在加载过程中产生了较大的位移,在加载前期(阶段 I) C2、C5 点分别下移了 2.94、2.54 mm,在加载后期(阶段 II) 趋于稳定,而 C11 点则持续下降,最大位移量为 4.67 mm。各点位随着与桩身距离的增加,土体竖向位移量逐渐减小;随着荷载的增加,桩侧土体竖向位移先增加后趋于稳定,这是由于随着荷载的增加,桩周土体出现贯通裂纹,此后桩身下沉对桩侧土体没有影响;而桩端附近土体持续受到挤压作用,位移持续增加。

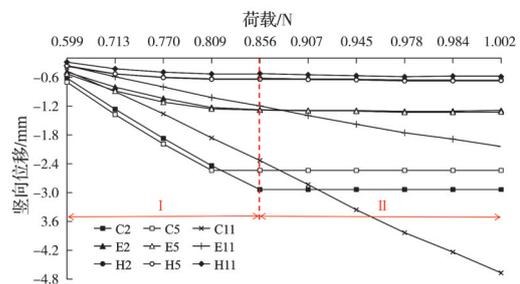


图 12 桩周土体竖向位移
Fig. 12 Vertical displacement of soil around pile

1.5.2 螺牙高度对桩周土体的影响

在桩周选取了 B11、D11、F11、H11 点研究同一埋深、与桩身不同距离处土体的位移情况。图 13、图 14 分别为 1~4 号桩周相同埋深处土体的水平、竖向位移情况。由图 14 可知,随着荷载的增加,桩周土体均产生水平向和竖向的位移,但随着螺牙高度的增加,桩周土体的位移响应呈现滞后现象;同一荷载条件下,随着与桩身距离的增加,位移量逐渐减小。

图 15 为 B11、D11、F11、H11 点产生 0.4 mm 的竖向位移时 1~4 号桩的荷载情况,其中 B11、D11、F11、H11 点分别距离桩身 5、15、30、50 mm。由图 15 可知,当桩周土体产生相同的竖向位移时,相同螺牙高度的桩身荷载呈递增趋势,说明沉降过程中螺纹桩对土体的影响逐渐向桩身外侧扩散。随着螺牙高度的增加,桩身荷载不断提升,说明增加螺牙高度,可提升桩身对土体的影响程度,使桩顶荷载更好地传递给桩周土体,从而发挥桩周土的承载能力。

2 数值模拟

2.1 有限元模型建立及参数选取

为了深入研究螺牙高度对螺纹桩承载特性的

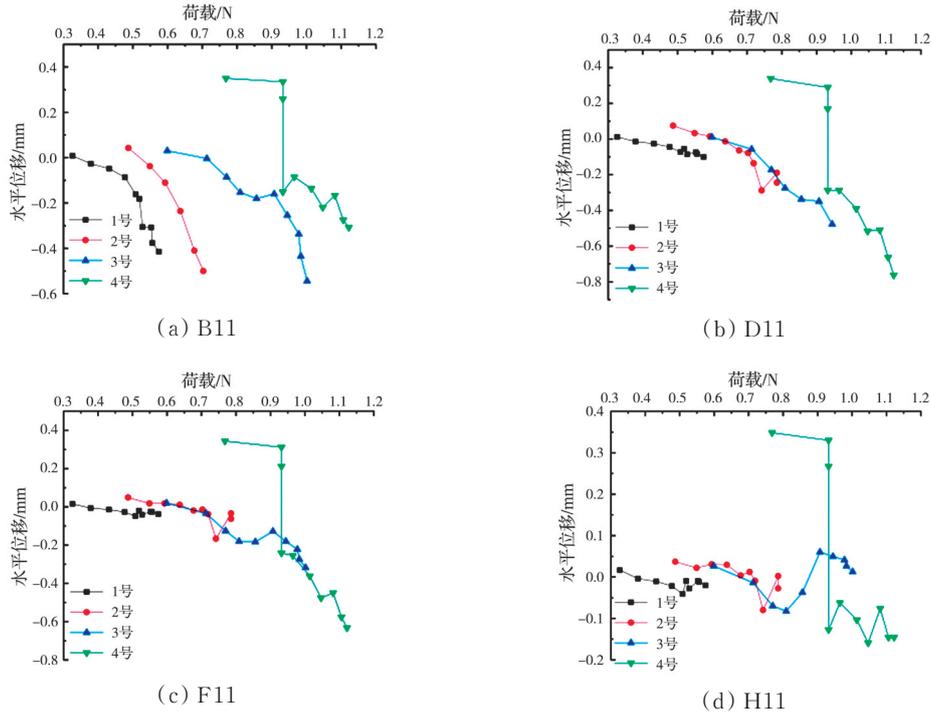


图 13 1~4号桩中相同埋深土体的水平位移

Fig. 13 Horizontal displacement of soil with the same buried depth in piles No. 1-4

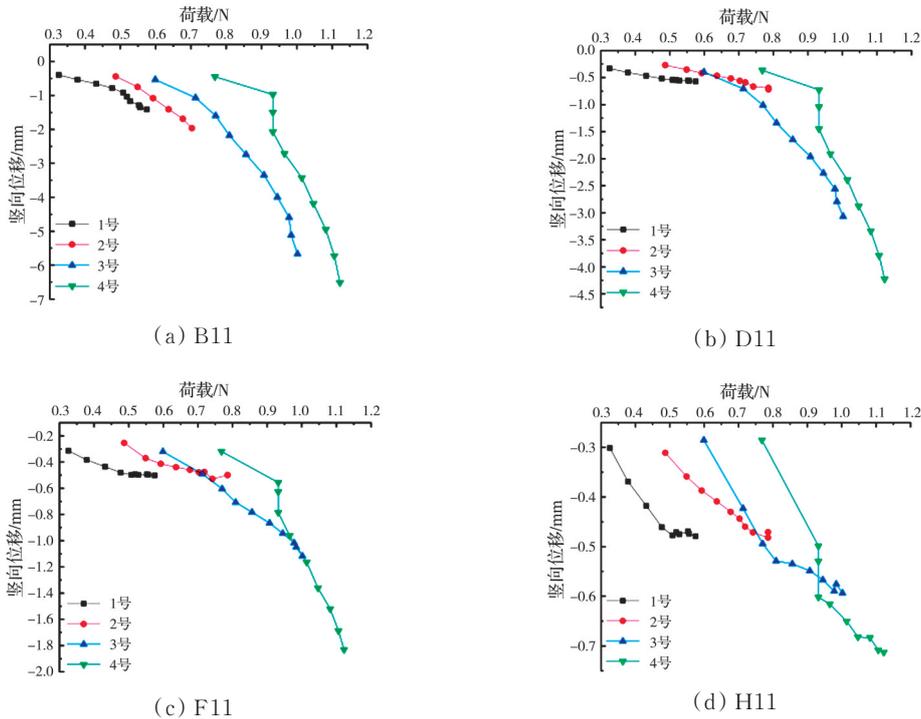


图 14 1~4号桩中相同埋深土体的竖向位移

Fig.14 Vertical displacement of soil with the same buried depth in piles No. 1-4

影响,采用ABAQUS软件建立螺纹桩和桩周土体的数值模型,并对其进行网格划分,如图 16 所示。土体本构模型采用 Mohr-Coulomb 模型,材料参数根据模型试验的材料属性确定,如表 3 所示,其中桩身弹性模量根据参考文献[9-11,15,20]及《混凝土结构设计标准》(GB/T 50010—2010)确定。

2.2 数值模拟与室内模型试验对比分析

为了验证数值模拟结果的准确性,对比模型试验中 1~4 号桩模型试验的荷载-沉降曲线,结果见图 17,其中:M2、M4、M8、M12 分别表示螺牙高度为 2、4、8、12 mm 的模型试验数据,S2、S4、S8、S12 分别表示螺牙高度为 2、4、8、12 mm 的数值模拟数

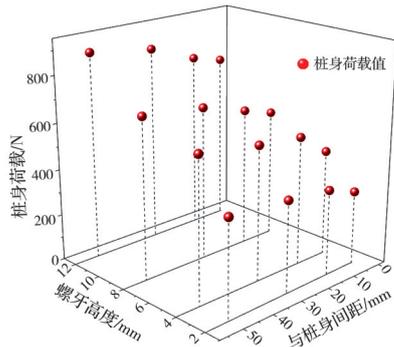
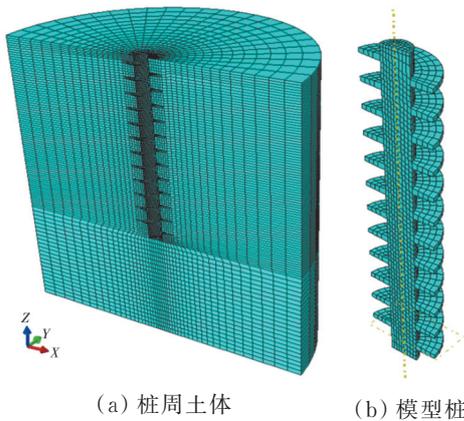


图 15 桩身荷载、螺牙高度和距离桩身间距的关系

Fig. 15 The relationship between load, pile body spacing and screw height



(a) 桩周土体 (b) 模型桩

图 16 数值模型及网格划分

Fig. 16 Numerical model and meshing

表 3 数值模拟中材料属性及相关参数

Table 3 Material properties and parameters in numerical simulation

| 材料 | 弹性模量/MPa | 密度/(kg/m ³) | 泊松比 | 摩擦角/(°) | 黏聚力/kPa | 摩擦系数 |
|----|----------|-------------------------|-----|---------|---------|------|
| 土体 | 46 | 1 900 | 0.3 | 14.5 | 30 | |
| 桩 | 25 000 | 2 500 | 0.2 | | | |
| 界面 | | | | | | 0.26 |

据。由图 17 可知,在竖向荷载下,模拟试验和模型试验中桩身产生沉降的趋势大体相同,数值也较为接近,说明有限元模型的分析结果能较为真实地反映实际情况。

2.3 桩周土体应力分析

图 18 为 S4 号桩在竖向荷载下桩周土体的应力场分布情况。桩身下沉 0.1 mm 时,桩身两侧土体形成等距离的应力分布区域。随着沉降量增加至 0.5 mm,螺牙侧土体形成连续拱形应力区域,桩端处形成“灯泡”状的应力区域。随着桩身沉降量继续增加,连续拱形应力区域持续存在,同时,桩端土体中“灯泡”状的应力区域也在不断扩大,由此可见,螺纹桩加载初期,桩顶荷载由桩侧摩阻力与端承力共同承担,随着桩身沉降量增加,桩侧土体的

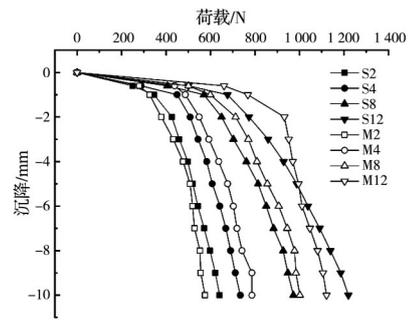


图 17 模型试验与模拟试验的荷载-沉降曲线对比

Fig. 17 Comparison of load-settlement curves between model test and simulation test

应力减小,侧阻力作用效果逐渐减弱,此时,桩身传递给土体的荷载主要由桩端土体承担。

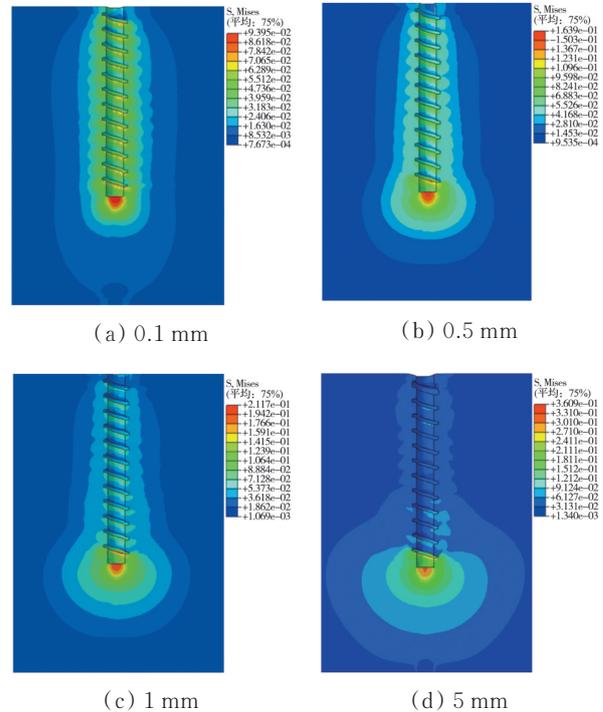


图 18 桩周土体应力场分布图(S4 为例)

Fig. 18 Distribution of soil stress field around pile (S4 as example)

2.4 螺纹桩螺牙高度的影响分析

为了进一步研究螺牙高度的影响,增加直桩和螺牙高度分别为 6、10、14 mm 的工况,数值模拟中材料属性及相关参数同表 3。将螺牙高度为 2、4、6、8、10、12、14 mm 的螺纹桩分别命名为 S2、S4、S6、S8、S10、S12、S14,直桩为 S0。

2.4.1 荷载-沉降曲线

图 19 为数值模拟得到的 S0~S14 号桩荷载-沉降曲线。由图 19 可知,随着螺牙高度的增加,桩身承载力随之增大。当桩身下沉 1 mm 时,下沉速率较快,可认为 S0、S2、S4、S6、S8、S10、S12、S14 号桩均达到极限承载力,分别为 70、346、450、512、570、

630、676、723 N。与S0相比,螺纹桩的桩身极限承载力分别提升了 394%、543%、631%、714%、800%、866%、933%。螺牙高度由 2 mm 增加至 4 mm,桩身极限承载力提升率为 30.06%,螺牙高度由 4 mm 增加至 6 mm,桩身极限承载力提升率为 13.78%,以此类推,随着螺牙高度继续增加,桩身极限承载力提升率逐步减弱,如图 20 所示。

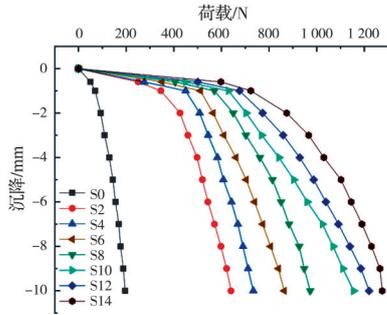


图 19 荷载-沉降曲线

Fig. 19 Load-settlement curves

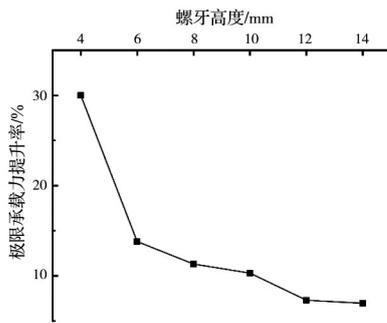


图 20 极限承载力提升率与螺牙高度的变化曲线

Fig. 20 The change curve of ultimate bearing capacity increment rate and screw height

S2~S14号桩按照螺牙高度的增加,计算得到相应的桩身体积分别为 27.1、29.6、32.6、36.0、39.8、44.1、48.9 cm³,以极限承载力与桩身体积的比值作为桩身材料的利用率^[15],分别为 12.8、15.2、15.7、15.8、15.8、15.3、14.8 N/cm³。随着螺牙高度的增加,桩身材料(主要为螺牙部分)的利用率也随之提升,在螺牙高度为 8~10 mm 时达到峰值,随

后降低,如图 21 所示。

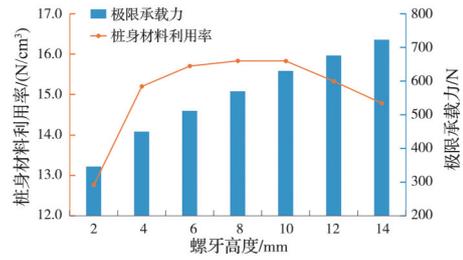


图 21 桩身材料利用率与极限承载力的关系

Fig. 21 Relationship between material utilization rate of pile and ultimate bearing capacity

综上所述,在一定范围内增加螺牙高度可显著提高桩身极限承载力,但极限承载力的提升率及桩身材料利用率并非与螺牙高度呈正相关。因此,在螺纹桩设计过程中,螺牙高度不宜过大,导致浪费桩身材料,应结合实际工程合理设计,既要保证单桩承载力满足要求,且较容易施工,又要最大程度节省桩身材料。

2.4.2 螺牙高度对桩周土体的影响

图 22 中,在相同荷载下,S2~S14号桩桩周土体的竖向应力主要分布在螺牙间及桩底下方土体。其中桩底端应力分布区域以最底圈螺牙为起点,向下方扩展,见图 22(b)所标识区域,随着螺牙高度的增加,该区域不断扩大。螺牙内土体的应力分布区主要是与螺牙下表面相接触的土体,见图 22(d)所标识区域。由图 22 可知,随着螺牙高度的增加,螺牙对桩侧土体产生的应力范围由包裹着整个螺牙发展为仅存在螺牙下方,螺牙周围土体的应力值逐渐减小。最底圈螺牙与桩底共同作用,产生了类似于端承作用的较大应力区域,随着螺牙高度的增加,范围逐渐扩大,该区域最小应力值分别为 0.472、0.246、0.232、0.219、0.201、0.187、0.162 MPa。说明在相同荷载下,随着螺牙高度的增加,螺纹桩对桩周土体的影响逐渐减弱,并且增加了端承力作用的范围。

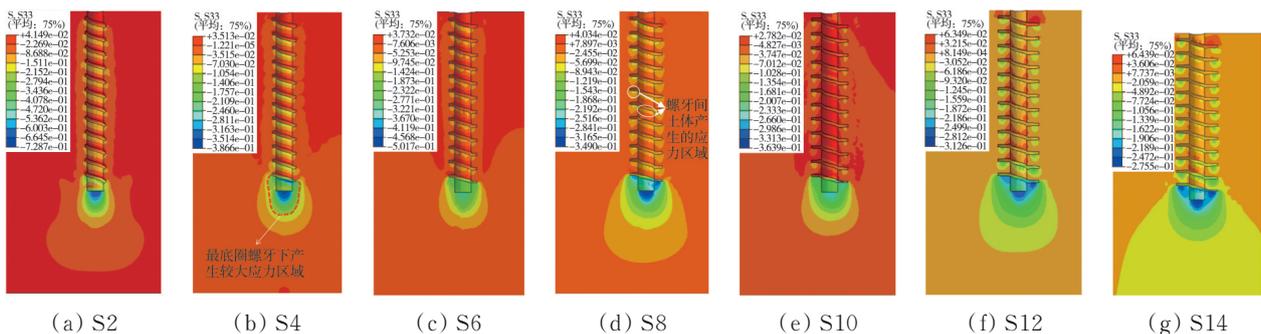


图 22 S2-S14号桩周土体竖向应力云图(400 N)

Fig. 22 Contour of vertical stress of soil around piles No. S2-S14 (400 N)

3 结论

1)室内半面模型桩试验表明,随着螺牙高度的增加,桩身承载力有所提高,桩周土体发生剪切破坏的进程有所延缓。在竖向荷载作用下,螺牙间土体提供桩侧摩阻力,随着桩顶荷载的增加,螺牙侧土体产生剪切破坏,桩侧阻力(咬合力)对桩身承载力的贡献减弱。

2)水平方向上,加载前期,桩周土体均背离桩身移动,移动幅度与土体埋深成反比;加载中期,距桩身较远的土体产生回移,靠近桩身的土体趋于稳定;加载后期,距桩身较远的土体不再移动,靠近桩身的土体背离桩身移动。桩周土体的竖向位移量与到桩身的水平距离成反比。随着螺牙高度的增加,桩顶荷载向桩周土体传递的效率有所增加。

3)数值模拟研究发现,螺牙高度的增加提高了桩身极限承载力,但提升率逐渐减小,随着螺牙高度的增加,桩身材料利用率呈现先上升后下降的趋势。相同荷载条件下,螺牙高度的增加使桩侧土体的影响范围缩小,桩端土的影响范围有所扩大。

参考文献

- [1] 姚建明, 孟振, 陈锦剑, 等. 全螺纹钻(挤)孔灌注桩在上海软土地区的应用[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(Sup2): 1058-1061.
YAO J M, MENG Z, CHEN J J, et al. Application of drilled screw piles in Shanghai soft soils [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(Sup2): 1058-1061. (in Chinese)
- [2] 赵赟, 张陈蓉, 凌巧龙, 等. 软土地区注浆成型螺纹桩抗拔承载力的计算[J]. 岩土力学, 2015, 36(Sup1): 334-340.
ZHAO Y, ZHANG C R, LING Q L, et al. Calculation of uplift capacity of grouting-screw pile in soft clay area [J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 36(Sup1): 334-340. (in Chinese)
- [3] 杨焯. 螺纹桩在宣绩高速铁路路基工程中的应用[J]. 铁道建筑, 2023, 63(7): 134-137.
YANG Y. Research on application of screw pile in subgrade engineering of Xuancheng-Jixi high speed railway [J]. Railway Engineering, 2023, 63(7): 134-137. (in Chinese)
- [4] 孟振, 陈锦剑, 王建华, 等. 砂土中螺纹桩承载特性的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(Sup1): 141-145.
MENG Z, CHEN J J, WANG J H, et al. Study of model test on bearing capacity of screw piles in sand [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(Sup1): 141-145. (in Chinese)
- [5] CHEN Y D, DENG A, LU F, et al. Failure mechanism and bearing capacity of vertically loaded pile with partially-screwed shaft: Experiment and simulations [J]. Computers and Geotechnics, 2020, 118: 103337.
- [6] CHEN Y D, DENG A, WANG A T, et al. Performance of screw-shaft pile in sand: Model test and DEM simulation [J]. Computers and Geotechnics, 2018, 104: 118-130.
- [7] HO H M, MALIK A A, KUWANO J, et al. Influence of helix bending deflection on the load transfer mechanism of screw piles in sand: Experimental and numerical investigations [J]. Soils and Foundations, 2021, 61(3): 874-885.
- [8] 钱建固, 陈宏伟, 贾鹏, 等. 注浆成型螺纹桩接触面特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(9): 1744-1749.
QIAN J G, CHEN H W, JIA P, et al. Experimental study of mechanical behaviours of grouting-screw pile interface [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(9): 1744-1749. (in Chinese)
- [9] 王国才, 赵志明, 奚灵智, 等. 螺纹桩竖向承载特性研究[J]. 浙江工业大学学报, 2020, 48(1): 90-96.
WANG G C, ZHAO Z M, XI L Z, et al. Research on vertical load bearing characteristics of thread piles [J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2020, 48(1): 90-96. (in Chinese)
- [10] 王国才, 束炜, 赵志明, 等. 竖向荷载作用下螺纹群桩承载特性和群桩效应研究[J]. 浙江工业大学学报, 2022, 50(3): 290-298.
WANG G C, SHU W, ZHAO Z M, et al. Research on load bearing characteristics and pile group effect of screw piles under vertical loads [J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2022, 50(3): 290-298. (in Chinese)
- [11] 王斌, 钱建固, 陈宏伟, 等. 注浆成型螺纹桩抗拔承载特性的数值分析[J]. 岩土力学, 2014, 35(Sup2): 572-578.
WANG B, QIAN J G, CHEN H W, et al. Numerical analysis of grouting-screw pile uplift bearing capacity [J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(Sup2): 572-578. (in Chinese)
- [12] 陈亚东, 于艳, 孙华圣, 等. 竖向受荷螺杆桩承载特性离散元数值模拟[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2018, 45(Sup1): 20-24.
CHEN Y D, YU Y, SUN H S, et al. Discrete element numerical simulation on bearing characteristics of half screw pile subjected to vertical load [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2018, 45(Sup1): 20-24. (in Chinese)
- [13] 董俊利, 陈军浩, 聂如松, 等. 螺纹桩复合地基桩土应力比模型试验与数值模拟[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(10): 2966-2975.
DONG J L, CHEN J H, NIE R S, et al. Model test

- and numerical simulation of pile-soil stress ratio of threaded pile composite foundation [J]. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2022, 19(10): 2966-2975. (in Chinese)
- [14] SALEEM M A, MALIK A A, KUWANO J. Model study of screw pile installation impact on ground disturbance and vertical bearing behaviour in dense sand [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 710(1): 012056.
- [15] 周杨, 肖世国, 徐骏, 等. 变截面螺纹桩竖向承载特性试验研究[J]. *岩土力学*, 2017, 38(3): 747-754, 783.
ZHOU Y, XIAO S G, XU J, et al. Model test on vertical bearing capacity of variable cross-section thread piles [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2017, 38(3): 747-754, 783. (in Chinese)
- [16] 钱永梅, 张冠群, 田伟. 混凝土扩盘桩的半面桩小模型试验方法研究[J]. *建筑结构*, 2018, 48(Sup1): 742-748.
QIAN Y M, ZHANG G Q, TIAN W. Study on small bisected pile model test method of the concrete expanded-plate pile [J]. *Building Structure*, 2018, 48(Sup1): 742-748. (in Chinese)
- [17] 徐丽娜, 邓皓允, 郑俊杰, 等. 扩径体直径对钻扩混凝土桩桩周土体影响的试验研究[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2022, 49(7): 222-234.
- XU L N, DENG H Y, ZHENG J J, et al. Experimental study on influence of diameter of expanded body on soil around drilled-expanded concrete pile [J]. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 2022, 49(7): 222-234. (in Chinese)
- [18] XU L N, QI C H, NIU L, et al. Effect of expanded body diameter on the soil surrounding a pile based on the half-face pile model test of undisturbed soil [J]. *Buildings*, 2023, 13(4): 951.
- [19] XU L N, DENG H Y, NIU L, et al. Study on soil displacement fields around the expanded body of drill-expanded concrete piles based on DIC technique [J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(19): 9097.
- [20] 冷伍明, 魏广帅, 聂如松, 等. 螺纹桩竖向承载特性及承载机理研究[J]. *铁道工程学报*, 2020, 37(5): 1-6, 35.
LENG W M, WEI G S, NIE R S, et al. Research on the vertical bearing characteristics and bearing mechanism of screw pile [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2020, 37(5): 1-6, 35. (in Chinese)

(编辑 胡玲)