

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.05.025

竖向荷载作用下挤扩支盘桩承载性能分析

宋大明¹, 刘飞¹, 尚俊良¹, 张金萌²

(1. 中铁六局集团 石家庄铁路建设有限公司, 河北 石家庄 050010;

2. 河北省交通规划设计院 瑞志交通技术咨询有限公司, 河北 石家庄 050090)

摘要: 为了解挤扩支盘桩在竖向荷载作用下的承载性能,以荣乌(荣成—乌海)高速公路新线桩基工程为背景,通过 ABAQUS 软件建立三维桩—土模型,模拟分析竖向荷载作用下普通圆形灌注桩、挤扩支盘桩的桩顶沉降、桩身轴力和荷载承担状况。结果表明,同等条件下,挤扩支盘桩的承载能力优于普通圆形灌注桩;支盘设置在荷载较大位置时承载力效果更明显,且下盘承载力大于上盘承载力。

关键词: 桥梁;挤扩支盘桩;竖向荷载;承载性能

中图分类号:U445.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)05-0099-04

挤扩支盘桩是一种能同时体现摩擦桩和端承桩优良性能的桩体,由圆柱桩身及挤扩承载力盘组成。通过挤扩承载力盘的设置,桩体在和土体接触时产生一定挤压作用,在发挥摩阻性能的同时提高端承作用。目前通过室内模型试验、软件模拟等手段对挤扩支盘桩进行了研究,如卢成原等通过对不同工程背景下普通桩及挤扩支盘桩抗拔及抗压承载力对比试验,证明了挤扩支盘桩优越的承载性能;王伊丽等采用 ABAQUS 有限元软件对挤扩支盘桩进行竖向荷载下各复杂工况模拟,分析了不同因素对其承载力的影响。工程应用上大多根据经验公式通过模型试验或数值模拟对数据进行处理得出修正系数,并不适用于所有工程项目。本文以荣乌(荣成—乌海)

高速公路新线桩基工程为背景,利用 ABAQUS 软件建立普通圆形灌注桩和挤扩支盘桩三维桩—土模型,分析普通灌注桩与挤扩支盘桩在竖向荷载作用下的承载性能,为挤扩支盘桩的工程应用及优化提供参考。

1 工程概况

荣乌高速公路新线京台(北京—台北)高速公路至京港澳(北京—香港—澳门)高速公路段上跨京九(北京—九龙)铁路立交桥,主桥基础采用直径 150 cm 旋挖挤扩支盘桩,桩长 60 m。每根桩竖向设置 2 个承载力盘,分别位于 37 m 和 47 m 处,承载力盘直径 2.5 m。该桥地基各土层及桩体参数见表 1。

表 1 地基各土层及桩体参数

| 土层或桩体 | 土层厚度/m | 土体重度/(kN·m ⁻³) | 弹性模量/MPa | 黏聚力/kPa | 内摩擦角/(°) | 泊松比 |
|-------|--------|----------------------------|-----------|---------|----------|------|
| 杂质土 | 14.56 | 19.0 | 32.70 | 16.6 | 26.00 | 0.30 |
| 粉质黏土 | 9.76 | 20.1 | 30.00 | 14.8 | 30.60 | 0.30 |
| 黏土 | 9.76 | 19.0 | 51.70 | 23.9 | 15.20 | 0.30 |
| 细砂 | 9.76 | 19.6 | 41.90 | 8.0 | 33.40 | 0.30 |
| 粉质黏土 | 76.16 | 20.3 | 8.94 | 12.0 | 21.50 | 0.30 |
| 桩体 | — | 24.0 | 20 500.00 | — | 0.35 | 0.15 |

2 有限元模型

分别建立土体、桩身、承载力盘 3 个部件,再将其装配成一个整体。由于荷载距桩身越远影响越小,可忽略不计,土体区域径向取 20 倍桩长、竖向取 2

倍桩长,尺寸为 $X \times Y \times Z = 30 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 120 \text{ m}$ 。假定各土层为均质、连续、各向同性的理想弹塑性体材料,本构模型采用 Mohr-Coulomb 模型;普通圆形灌注桩及挤扩支盘桩均为连续、均质的弹性体,不考虑其非线性性质,仅设置弹性参数。土体及桩身均

采用 C3D8R 单元类型,对桩体及桩-土接触部分进行细部划分。桩-土间接接触分析采用有限滑动方法,接触属性选择罚函数算法,法向接触选择硬接触。土体四周设置 X、Y 方向约束,即 $U_1=U_2=0$; 土体底部为 X、Y、Z 方向完全限制,即 $U_1=U_2=U_3=0$ 。考虑到荷载和结构的对称性,建立 1/4 模型。装配后模型见图 1~3。



图 1 普通圆形灌注桩模型



图 2 挤扩支盘桩模型

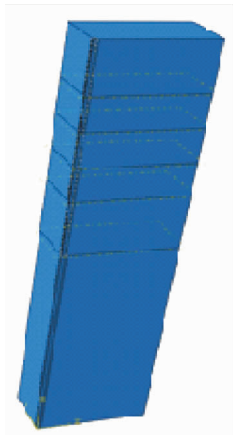


图 3 土体有限元模型

对桩-土模型施加荷载前,考虑实际工况下土体受到自重应力而产生自重沉降,先使桩-土模型达到地应力平衡。模拟过程中不考虑桩体对各土层分布的作用及施工因素对桩周土体的影响。分析步骤为桩浇筑前土体地应力平衡→桩浇筑完成后桩-土平衡→竖向荷载施加。

3 模拟结果分析

3.1 沉降

分别在普通圆形灌注桩及挤扩支盘桩桩顶施加竖向荷载,每级荷载为 2 000 kN,提取各级荷载作用下桩顶中心节点的沉降。不同竖向荷载作用下普通圆形灌注桩及挤扩支盘桩桩顶沉降分别见表 2、表 3。随着荷载的增加,分级沉降值与累计沉降值均增大。

图 4 为普通圆形灌注桩及挤扩支盘桩桩顶荷

表 2 普通圆形灌注桩的荷载-沉降值

| 桩顶荷载/kN | 分级沉降值/mm | 累计沉降值/mm |
|---------|----------|----------|
| 4 000 | — | 9.251 |
| 6 000 | 4.779 | 14.030 |
| 8 000 | 4.940 | 18.970 |
| 10 000 | 5.100 | 24.070 |
| 12 000 | 5.190 | 29.260 |
| 14 000 | 5.600 | 34.860 |
| 16 000 | 5.714 | 40.574 |
| 18 000 | 6.388 | 46.962 |
| 20 000 | 6.878 | 53.840 |
| 22 000 | 7.798 | 61.638 |
| 24 000 | 7.832 | 69.470 |
| 26 000 | 8.120 | 77.590 |
| 28 000 | 23.100 | 100.690 |

表 3 挤扩支盘桩的荷载-沉降值

| 桩顶荷载/kN | 分级沉降值/mm | 累计沉降值/mm |
|---------|----------|----------|
| 4 000 | — | 6.989 |
| 6 000 | 2.268 | 9.257 |
| 8 000 | 3.215 | 12.472 |
| 10 000 | 3.412 | 15.884 |
| 12 000 | 4.240 | 20.124 |
| 14 000 | 4.306 | 24.43 |
| 16 000 | 4.333 | 28.763 |
| 18 000 | 4.434 | 33.197 |
| 20 000 | 5.445 | 38.642 |
| 22 000 | 5.886 | 44.528 |
| 24 000 | 6.718 | 51.246 |
| 26 000 | 8.233 | 59.479 |
| 28 000 | 15.364 | 74.843 |

载-沉降关系曲线。由图 4 可知:随着荷载的施加,普通圆形灌注桩桩顶沉降变化较均匀,沉降曲线较平缓,其承载力应按沉降量控制。荷载达到 16 000 kN 时,普通圆形灌注桩的累计沉降达到 40.574 mm,超

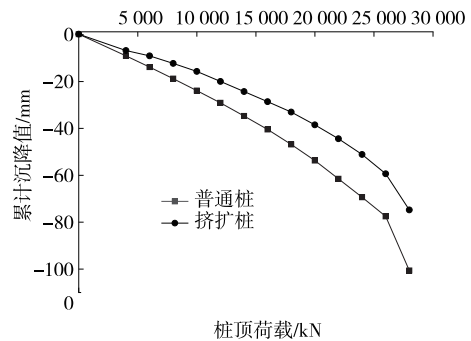


图 4 普通圆形灌注桩及挤扩支盘桩的荷载-沉降曲线

过 40 mm,普通圆形灌注桩的极限承载力为 16 000 kN。挤扩支盘桩的极限承载力为 22 000 kN,比普通圆形灌注桩提高 37.5%,挤扩支盘桩的单桩承载力优于普通圆形灌注桩。

3.2 桩身轴力

不同竖向荷载作用下普通圆形灌注桩及挤扩支盘桩桩身轴力分别见图 5、图 6。由图 5、图 6 可知: 1) 随着荷载的增加,普通圆形灌注桩桩身轴力增大。各分级荷载下,普通圆形灌注桩桩身轴力变化规律基本相同,随着深度的增加轴力减小。2) 桩顶

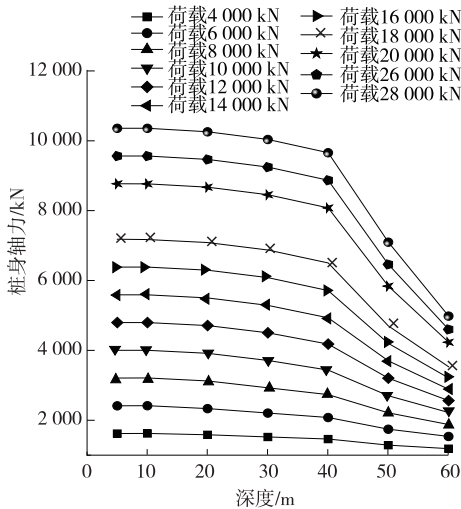


图 5 普通圆形灌注桩的桩身轴力

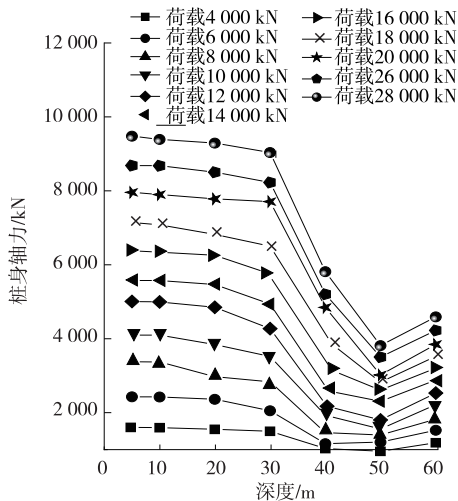


图 6 挤扩支盘桩的桩身轴力

荷载从 4 000 kN 增加到 28 000 kN 时,挤扩支盘桩桩身轴力变化与普通圆形灌注桩基本相同,在支盘处表现出端承桩的性质,两支盘分担部分荷载,支盘位置(深度 40 m 和 50 m 附近)轴力明显减小。由于支盘的承载作用,50 m 以下桩体的承载能力有所

增加,但数值很小,可忽略。

支盘的设置将挤扩支盘桩分为 4 个部分,各部分承担的荷载比例不同:1) 上支盘以上部分。该部分的性质与普通圆柱桩相同,通过桩侧摩阻力承担桩顶施加的竖向荷载。2) 上支盘。挤扩支盘桩支盘位置的轴力明显减小,原因是支盘的端承性质承担了一部分轴力,并向下传递,支盘部位深度处的轴力产生较大变化。3) 两支盘之间部分。与上支盘以上部分基本相同,不同的是该部分位于土层较深的位置,土体性质相较于上面更稳定,桩身的侧摩阻力性能较好。4) 下支盘。支盘性质与上支盘基本无异。在非支盘部位,挤扩支盘桩桩身通过桩侧摩阻力承担荷载,随着深度的增加轴力降低,变化基本为线性关系;在上、下两支盘处,支盘与端承桩分担荷载的表现相同,通过支盘的盘底分担荷载,因而两个支盘深度处的桩身轴力明显下降。

3.3 荷载承担状况

挤扩支盘桩桩顶施加的荷载分别由桩侧、上支盘、下支盘、桩端四部位承担,各部位承担的荷载分布及占比分别见图 7、图 8。

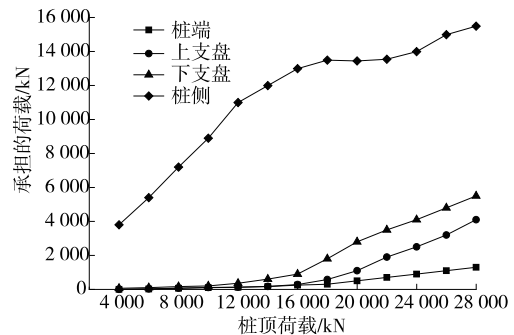


图 7 挤扩支盘桩各部位承担的荷载分布

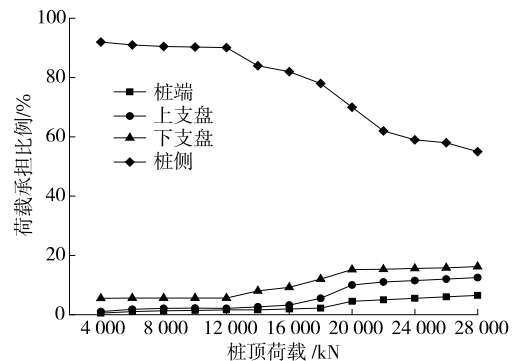


图 8 挤扩支盘桩各部位荷载承担比例

从图 7、图 8 可看出:1) 在桩顶荷载作用下,挤扩支盘桩的主要承载部位与普通圆形灌注桩相同,仍然是桩侧摩阻力。但随着荷载的增加,支盘承担

的荷载增大,下支盘承担的荷载大于上支盘。2) 桩顶荷载小于 18 000 kN 时,桩侧摩阻力承担大部分荷载,桩侧摩阻力随着荷载的增加显著增大。桩端及上支盘承担的荷载不足 10%,未体现其承力性能。桩顶荷载大于 18 000 kN 时,桩侧摩阻力的承载力有限,无法提供足够的承载力,支盘的作用增大,承担的荷载比例显著增大,上、下支盘共同发挥端承作用,承担了部分荷载。桩端承担荷载的作用不明显。荷载达到 28 000 kN 时,支盘承担的荷载达到 38.7%,体现出挤扩支盘桩承力盘的端承性质,承担荷载的性能明显优于普通圆形灌注桩。

桩顶荷载小于 18 000 kN 时,桩侧摩阻力承担的荷载占比为 80%~90%,承载力远远大于其他三部分;随着荷载的增大,桩侧摩阻力荷载分担比例有所下降,部分荷载由两支盘承担。两支盘承担荷载的变化趋势相同,均随着荷载的增加,荷载分担比例增大。

荷载较小时,上支盘几乎没有发挥作用;随着荷载的增加,两支盘承担了部分荷载,其中下支盘的荷载分担比例大于上支盘,承载性能好于上支盘。

桩端承担的荷载比例较小,荷载小于 12 000 kN 时,其分担比例小于 1%,可忽略不计;随着荷载的增加,桩端承担了 4%~6%的荷载,对整个桩体来说作用较小。

4 结论

(1) 同等条件下,普通圆形灌注桩与挤扩支盘桩单桩的沉降曲线均为渐变曲线,随着荷载的增加沉降增大,挤扩支盘桩的极限承载力比普通圆形灌注桩提高 37.5%,单桩承载能力优于普通圆形灌注桩。

(2) 与普通圆形灌注桩相比,挤扩支盘桩由于支盘的设置,荷载作用下桩身轴力在支盘附近急剧减小,桩顶沉降大幅度降低。除挤扩支盘桩支盘位置的轴力急剧减小外,其他部位与普通圆形灌注桩基本相同,均由桩侧摩阻力承担传递下来的荷载。

(3) 上下支盘在荷载较小时未发挥作用,大部分荷载由桩侧摩阻力承担。随着荷载的增加,支盘作用逐渐体现并承担部分荷载,荷载分担比例为 38.7%,承力效果明显。桩端的承力效果较小,占总荷载的 4%~6%。

(4) 支盘的存在将挤扩支盘桩分为 4 个部分,不同部位分担的荷载比例不同,下支盘承担的荷载大于上支盘承担的荷载。工程应用时,下支盘部位的土层位置选择非常重要,可结合数值模拟结果进行比较及优化。

参考文献:

[1] 孙洪宇.工程用挤扩支盘桩承载性能分析[J].吉林电力,2015,43(5):5-8.

[2] 卢成原,孟凡丽,战永亮,等.挤扩支盘桩的承载性能及工程应用研究[J].建筑结构,2003,33(11):20-22.

[3] 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(增刊2):158-162.

[4] 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.

[5] 解家毕,刘祖德.施工工艺对灌注桩承载力的影响分析[J].哈尔滨工业大学学报,2005,37(10):1446-1450.

[6] 郭竞,王晓磊,史三元,等.挤扩支盘桩设计优化研究[J].煤炭工程,2016(4):28-30.

[7] 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.

[8] 严伟飞,尚佩,陈永生,等.后压浆法对桥梁单桩承载力增强效应研究[J].公路与汽运,2020(3):110-112+117.

[9] 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.

[10] 仲夏.旋挤支盘桩承载性能及设计优化研究[D].邯郸:河北工程大学,2021.

[11] 余路遥.砂土中竹节方桩群桩抗拔试验研究[D].合肥:合肥工业大学,2021.

收稿日期:2022-06-23

(上接第 93 页)

[8] 魏明祥.相邻互通式立交最小交织长度的探讨[J].北方交通,2012(1):33-35.

[9] 付胜余.小间距互通式立交设计方法探讨[J].北方交通,2015(3):17-21.

[10] 廖瑞,陈明.长沙市湘府路大桥互通立交方案研究[J].

公路与汽运,2020(1):98-101.

[11] 王祖华,范安军,苏小青.基于主线线位选择的山区高速公路枢纽互通式立交方案探讨[J].福建交通科技,2021(6):5-8.

收稿日期:2021-09-28