

深基坑开挖中地基加固条件 对双排桩支护结构影响的数值分析

赵津磊, 周亚军, 陈 懿, 许雪梅

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127)

摘要:为深入研究软土地区深基坑工程中,地基加固对双排桩支护结构变形性状的影响,采用有限元方法系统分析了地基加固位置、加固深度、加固强度对双排桩变形的影响。结果表明:加固双排桩前侧、中间、后侧土体均可减小双排桩的侧向变形,其中加固前排桩前侧土体对桩身变形的削减效果最为显著;增加地基加固深度可进一步减小桩身的侧向位移,但存在一定极限值;双排桩前侧土体的弹性模量对双排桩变形的影响相对较大。

关键词:深基坑;有限元;双排桩;影响因素

中图分类号:TV222

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2019)10-0047-05

Numerical analysis of the influence of foundation reinforcement condition on double – row pile support structure in deep foundation pit excavation

ZHAO Jinlei, ZHOU Yajun, CHEN Yi, XU Xuemei

(Jiangsu Provincial Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Yangzhou 225127, Jiangsu)

Abstract: In order to deeply study the influence of foundation reinforcement on the deformation behavior of double – row pile supporting structure in deep foundation pit engineering in soft soil area, the influence of the location, depth and strength of foundation reinforcement on the deformation of double – row pile was systematically analyzed by finite element method. The results showed that the lateral deformation of the double – row pile could be reduced by reinforcing the soil on the front side, the middle and the back side of the double – row pile, and the soil on the front side of the pile before reinforcement was most effective in reducing the deformation. Increasing the depth of foundation reinforcement could further reduce the lateral displacement of the pile body, but there was a certain limit value. The elastic modulus of the soil on the front side of the double – row pile had a relatively large influence on the deformation of the double – row pile.

Key words: deep foundation pit; finite element; double – row pile; influencing factor

0 引言

双排桩结构由两排平行的钢筋混凝土桩组成,两排平行桩通过桩顶的冠梁及连梁构成空间门架式体系。这种结构体系具体较高的侧向刚度,能有效控制基坑的侧向变形。而且,相比其他需设置内支撑的支护体系,双排桩支护结构形式简单,可保证基坑内部充足的施工空间。

双排桩的受力形式复杂,如何对其进行内力及变形分析,一直以来是工程人员较关注的一个课题。

双排桩的受力形式复杂,如何对其进行内力及变形分析,一直以来是工程人员较关注的一个课题。

收稿日期:2019-04-25

基金项目:江苏水利科技项目(2016065)

作者简介:赵津磊(1988—),男,博士,工程师,主要从事水工结构设计、安全监测、安全评价与数值仿真分析方面的研究工作。

题^[1-2]。目前,在双排桩支护结构设计中,常用的计算方法有弹性抗力法、极限平衡法和数值计算方法^[3]。其中,弹性抗力法和极限平衡法均在经典土压力理论的基础上,对前后桩上土压力的分配进行了不同假定,这很难合理描述双排桩结构的实际受力情况^[4-5]。数值计算方法无需对前后桩上土压力的分配进行假定,并且可计算得出双排桩结构及土体的应力和变形。许多学者采用数值分析方法对双排桩结构进行了分析,取得了满意的结果^[6-7]。

在实际工程中,常对排桩之间的土体进行水泥搅拌加固,来改善双排桩的变形,并且水泥搅拌桩能同时发挥止水作用。不同加固条件下,双排桩的变形性状难以通过传统计算方法获得,本文利用有限元方法对不同加固条件下双排桩的变形性状进行系统分析,以期为软土地区双排桩支护结构设计提供参考。

1 基坑双排桩工程分析模型

该深基坑工程位于平原地区,开挖深度为 6 m,工程采用双排灌注桩支护方案,前后排桩为矩形布置,排间距为 3.5 m,桩径为 1 m,同排桩心距为 1.5 m。

有限元分析中,模型取基坑工程空间结构的一部分,并根据结构的对称性取结构的一半。模型四周施加水平约束,底面施加三向固定约束,顶面自由。所分析的基坑双排桩桩结构剖面如图 1 所示。分析中,双排桩桩身、冠梁及连梁等混凝土部分采用弹性本构模型,重度取 25 kN/m³,弹性模量取 30 GPa,泊松比取 0.167。土体本构模型采用 Mohr-Coulomb 模型,各土层具体参数如表 1 所示。分析模型中,全面考虑混凝土结构与土体之间的接触特性,选用基于 Coulomb 摩擦定律的硬接触。

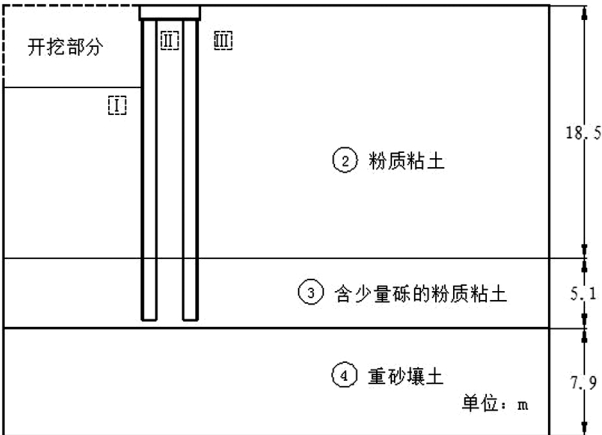


图 1 基坑双排桩桩结构剖面示意图

本文采用控制变量法对地基不同加固位置、加固深度以及加固强度下双排桩的变形特性进行全面分析。

表 1 地基材料参数

土层	重度 $\gamma/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$	压缩模量 E_s/MPa	泊松比 ν
②	18.1	17.2	8.2	3.13	0.3
③	20.2	38.6	15.5	6.63	0.3
④	21.0	11.0	24.5	7.65	0.3

2 地基加固条件对双排桩变形的影响分析

为研究地基加固条件对基坑开挖中双排桩结构变形的影响,本文采用控制变量法,设定双排桩自身的尺寸、材料参数为常量,仅考虑不同的地基加固条件,分别建立模型进行有限元分析。

2.1 地基加固位置对双排桩变形的影响

分析地基加固位置对双排桩变形的影响时,分别考虑双排桩前侧Ⅰ区、桩间Ⅱ区、桩后Ⅲ区 3 种情况,加固区土体弹性模量取 80 MPa,泊松比取 0.28,加固宽度取 3 m,加固深度取 6 m。

桩前侧Ⅰ区土体加固后可增加该位置土对桩身产生的被动土压力,增强对双排桩的支撑能力。桩间Ⅱ区处于双排桩及连梁的三向约束下,其受力情况较为复杂,若将中间土体视为双排桩结构的一部分,对Ⅱ区土体加固则增强了双排桩结构抵抗变形的能力。对桩后Ⅲ区土体进行加固则可直接减小桩后侧的主动土压力,该土压力是造成双排桩侧向变形的主要原因。

图 2 为不同加固位置条件下桩身水平位移沿深度方向的分布情况。由地基未加固时桩身的水平位移曲线可以看出,因双排桩顶部梁系刚度较大,空间效应显著,桩身最大侧移出现在桩顶以下。而且底部桩端也发生了一定侧移,这说明深厚软土基础上进行基坑开挖对土体的影响范围较大。地基未进行加固时前排桩最大侧移为 18.6mm,后排桩为 16.9mm,前排桩最大侧移值稍大于后排桩。

对比分析图 2 中不同加固条件下桩身的侧向位移。可以看出,桩前侧Ⅰ区土体加固对桩身变形的改善效果最为显著,前排桩最大侧移减小 2.2 mm,后排桩最大侧移减小 2.8 mm。桩间Ⅱ区、桩后Ⅲ区土体加固对桩身变形也有明显改善作用,

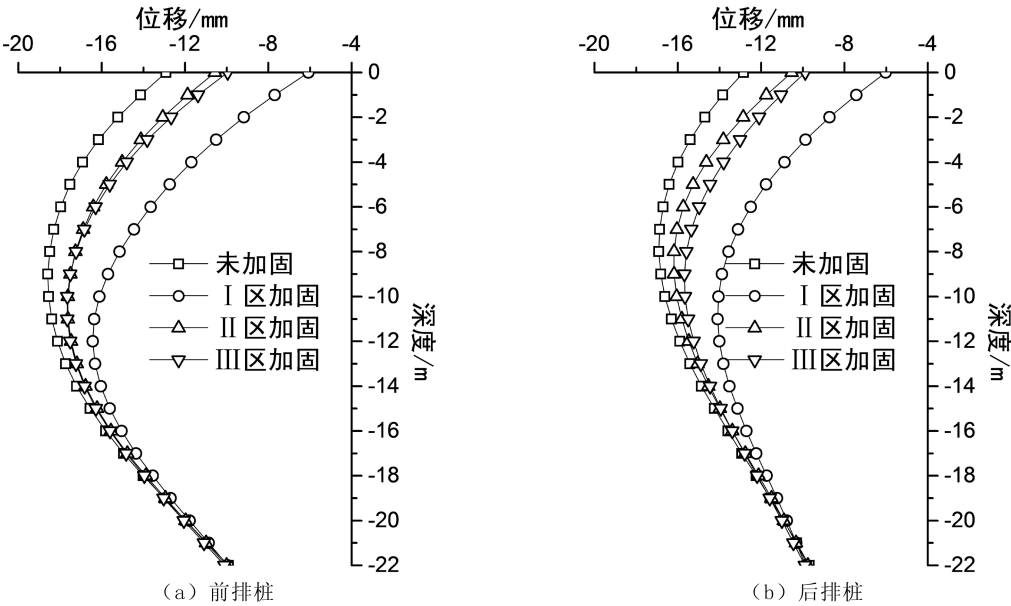


图 2 不同加固位置对桩身水平位移的影响

两种加固位置下,前排桩侧移情况类似,相较未加固条件下最大侧移均减小 1 mm 左右。而从后排桩侧移的改善情况来看,对桩后 III 区土体加固要稍优于对桩间 II 区土体加固。

2.2 地基加固深度对双排桩变形的影响

分析地基加固深度对双排桩变形的影响时,考虑 3 种不同加固位置,加固区土体弹性模量取 80 MPa,泊松比取 0.28,加固宽度取 3 m,加固深度分别取 2 m、4 m、6 m 和 8 m。

(1) I 区土体加固深度对双排桩变形的影响

图 3 为 I 区土体不同加固深度下,桩身侧向变形沿深度的分布情况。可以看出,随着加固深度的

增加,桩身最大侧向位移及桩顶位移逐渐减小,但减小程度趋缓,尤其是加固深度由 6 m 增大到 8 m 时,前排桩和后排桩的侧向变形几乎无明显变化。I 区土体进行加固对桩顶侧向位移改善效果显著,在加固深度达 8 m 时,前排桩和后排桩桩顶侧移均减小 6.7 m 左右(为未加固时的 52%)。

(2) II 区土体加固深度对双排桩变形的影响

II 区土体不同加固深度下,桩身侧向变形沿深度的分布情况,如图 4 所示。从图 4 中的曲线来看,桩身侧向变形随加固深度减小的趋势较缓。值得注意的是,后排桩的最大侧向变形在加固深度超过 2 m 之后,便不再随加固深度增大而发生明显变化,

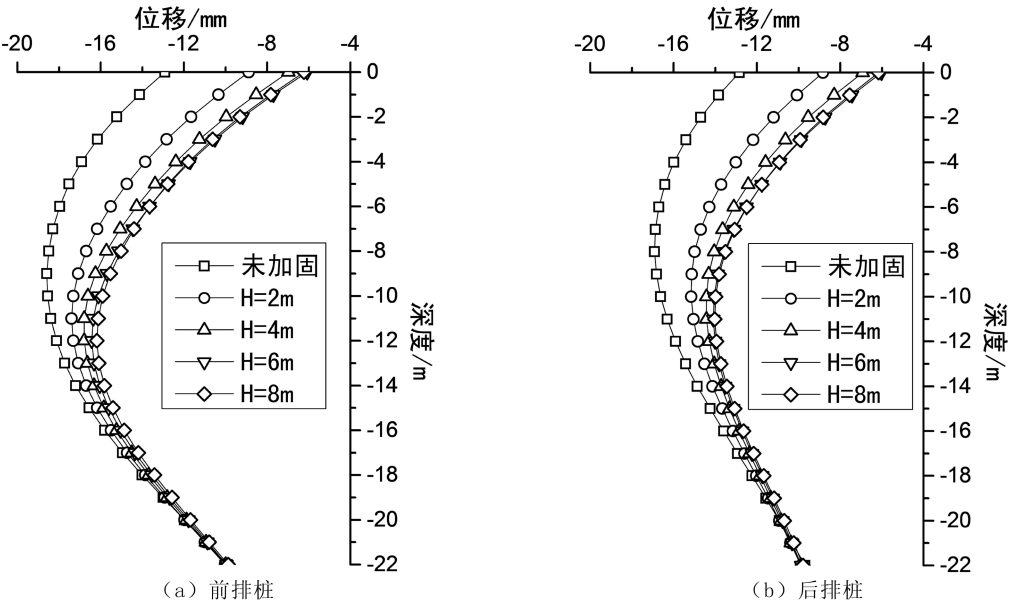


图 3 I 区土体不同加固深度对桩身水平位移的影响

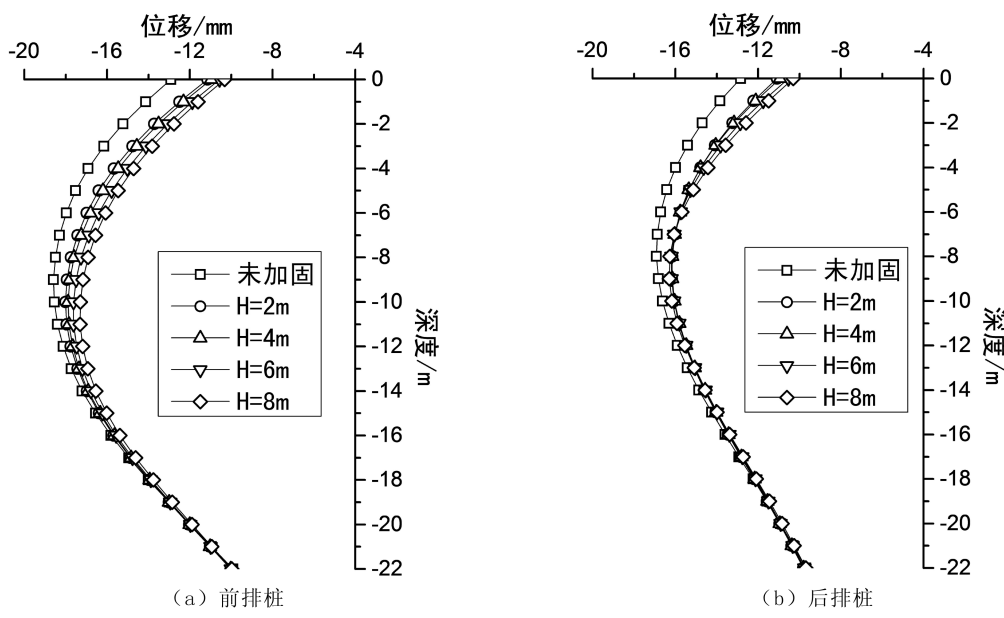


图 4 II 区土体不同加固深度对桩身水平位移的影响

而桩顶在顶部连梁的约束下,与前排桩顶保持一致,侧向位移随加固深度的增加仍有逐渐较小的趋势。在加固深度达 8 m 时,前排桩和后排桩桩顶侧移均减小 2.6 m(为未加固时的 20%)。与 I 区土体加固方案比较,增加 II 区土体加固深度对桩身侧向变形的改善效果有限。

(3) III 区土体加固深度对双排桩变形的影响

III 区土体不同加固深度下,桩身侧向变形沿深度的分布情况,如图 5 所示。可以看出,桩身侧向变形随加固深度增加而减小的趋势较为显著,在加固深度由 6 m 增加至 8 m 的过程中,桩身侧移仍保持一定减小量,而且前后排桩侧向位移随加固深度

增加而减小的趋势整体上较为一致。在加固深度达 8 m 时,前排桩和后排桩桩顶侧移均减小 3.4 m(为未加固时的 26%)。从桩身侧向变形情况来看,加固 III 区土体对桩身侧向变形的改善效果要优于加固 II 区土体,而次于加固 I 区土体。基坑桩后侧 III 区土体对双排桩产生的主动土压力是造成双排桩结构向基坑内侧变形的主要因素,可以想象,如果继续增大 III 区土体的加固宽度,可以进一步减小桩后主动土压力,从而改善桩身的变形情况。在实际工程中多由于施工空间有限而选择双排桩支护形式,故此处不再对 III 区土体在更大加固宽度下的情况做深入分析。

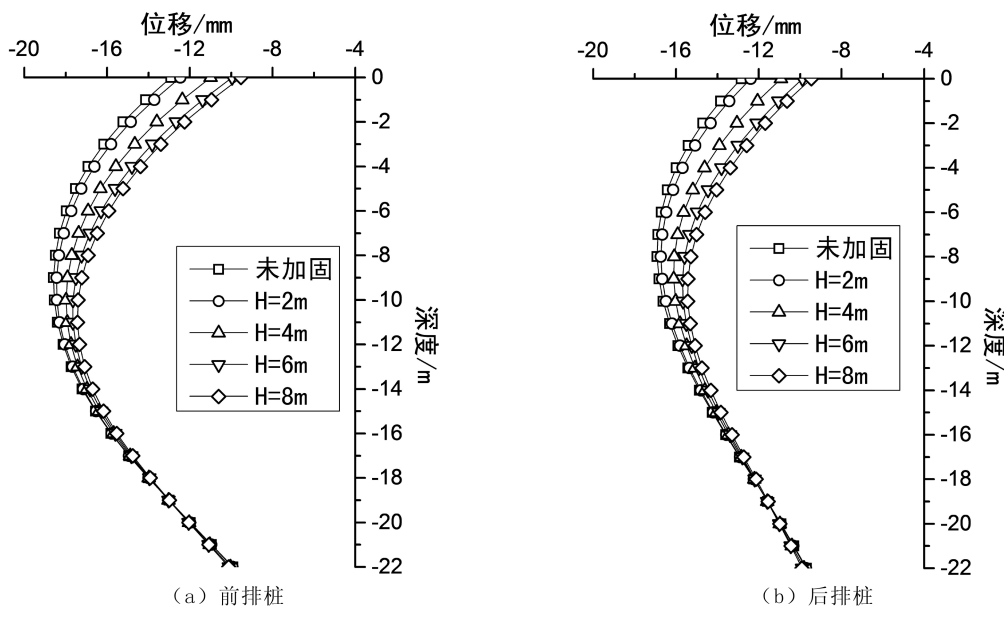


图 5 III 区土体不同加固深度对桩身水平位移的影响

2.3 地基加固强度对双排桩变形的影响

在实际工程中,当采用水泥搅拌桩对地基进行加固时,可通过调整置换率来控制地基加固后的复合模量,因此有必要分析不同加固强度条件下,桩身侧向位移的变化情况。分析中,考虑 3 种不同加固位置,加固区加固宽度取 3 m,加固深度取 6 m,土体弹性模量分别取 40 MPa、80 MPa、120 MPa。由前面的分析可以看出,不同加固条件下,桩身侧向位移沿深度方向的分布规律基本一致,因此该部分分析中仅选取桩顶位移作为研究对象,并且由于顶部连梁的约束作用,前后排桩顶部位移基本相同,所以不再区分前后排桩的区别。

图 6 为不同加固位置条件下,桩顶位移随土体加固强度的变化情况。可以看出,在加固 I 区土体的方案中,加固土体的复合模量对桩顶侧移影响较大,在加固土体弹性模量由 40 MPa 增加至 120 MPa 时,桩身顶部位移由 7.6 mm 减小至 5.3 mm, I 区加固土体弹模的增大可增强该区域土体对双排桩的支撑作用,从而减小桩顶侧移。而在加固 II 区和 III 区土体的方案中,加固土体的复合模量对桩顶侧移的影响较小,在加固土体弹性模量由 40 MPa 增加至 120 MPa 时,桩顶侧移仅分别减小了 0.6 mm 和 0.5 mm。因此在实际工程中,应根据加固位置来区别考虑加固强度,避免盲目提高加固强度。

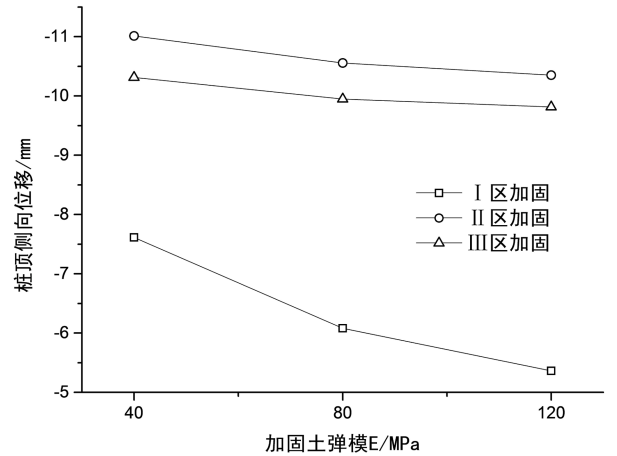


图 6 土体不同加固强度对桩顶侧向位移的影响

3 结论

本文以软土地区双排桩支护结构为研究对象,

运用有限元方法,研究了地基加固条件对双排桩变形的影响,主要结论如下:

- (1)对前排桩前侧、前后排桩之间、后排桩后侧土体进行加固均可有效改善双排桩的变形性状,相同加固范围内,加固前排桩前侧土体对双排桩侧移的削减效果相对最优,后 2 种加固方案的效果次之;
- (2)增加土体加固深度可以进一步增强对双排桩变形性状的改善效果,但加固深度存在极限值,当加固深度超过一定极限值后,双排桩结构的变形不再随加固深度增加而变化;
- (3)增加前排桩前侧加固土体的弹性模量,可显著提高地基加固对双排桩结构侧向位移的削弱作用,而前后排桩之间及后排桩后侧加固土体的弹性模量,对双排桩结构变形的影响不大。

参考文献:

[1] 丁洪元, 昌钰, 陈斌. 软土深基坑双排桩支护结构的影响因素分析[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(5): 105 - 109.

[2] 崔宏环, 张立群, 赵国景. 深基坑开挖中双排桩支护的三维有限元模拟[J]. 岩土力学, 2006, 27(4): 662 - 666.

[3] 张秀成, 王义重, 傅旭东. 深基坑双排桩支护结构三维数值计算与应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2010, 43(2).

[4] 林栋. 用双排灌注桩作深基坑围护结构的尝试[J]. 建筑施工, 1994(4): 8 - 9.

[5] 吴刚, 白冰, 聂庆科. 深基坑双排桩支护结构设计计算方法研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(10): 2753 - 2758.

[6] 邓小鹏, 陈征宙, 韦杰. 深基坑开挖中双排桩支护结构的数值分析与工程应用[J]. 地球科学与环境学报, 2002, 24(4): 42 - 47.

[7] 蔡袁强, 王立忠, 陈云敏, 等. 软土地基深基坑开挖中双排桩式围护结构应用实录[J]. 建筑结构学报, 1997, 18(4): 70 - 76.