

双排桩支护排距的优化研究

孙涛, 刘俊岩, 刘燕

(济南大学土木建筑学院, 山东 济南 250022)

摘要: 运用有限元软件 PLAXIS 模拟并结合济南某双排桩支护深基坑的实际监测资料, 对双排桩支护结构的最优排距进行了研究, 并进一步分析了开挖过程中的支护变形和土压力。提出排距在 $2D \sim 4D$ (D 为桩径) 时支护效果最好, 且根据模拟和监测结果进一步得出适当的桩排距应结合合理的施工方案, 才能充分发挥双排桩控制变形的优势, 降低工程造价。

关键词: 双排桩; 基坑监测; 变形; 有限元法

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)S0-0616-05

作者简介: 孙涛(1986-), 男, 山东邹城人, 硕士研究生, 主要从事基坑工程研究。E-mail: suntao5283756@163.com。

Optimal row distance of retaining structure with double-row piles

SUN Tao, LIU Jun-yan, LIU Yan

(School of Civil Engineering and Architecture of University of Jinan, Jinan 250022, China)

Abstract: Based on the numerical simulation by finite element calculation and the actual monitoring data for a large deep excavation in Jinan, the optimal row distance of retaining structure with double-row piles is studied. The deformation and earth pressure of the retaining structure during excavation are analyzed. The row distance of $2D \sim 4D$ (D is the pile diameter) will result in the smallest deformation. Only appropriate row distance and reasonable construction plan can make full use of the deformation control.

Key words: double-row pile; excavation monitoring; deformation; finite element method

0 引言

双排桩支护结构能够有效控制基坑变形, 维持基坑的稳定性。适用于场地土软弱, 开挖深度大或周围环境紧张的基坑工程。

目前已有学者对其进行了大量研究。何颐华等^[1]人通过分配桩间土压力建立了双排桩计算模型。郑刚等^[2]提出了一种桩土共同作用模型, 并且考虑了桩间土的作用。聂庆科等^[3]及曹俊坚等^[5]考虑了空间效应, 建立了与冠梁有关的计算模式。王军等^[4]运用有限元 ANSYS 程序分析了排距对桩内力和变形的影响。以上都是以实验室模型实验和单纯的数值分析为基础, 不能反映基坑现场的复杂多变情况, 笔者着手于现场监测资料, 并以此为据进行数值模拟, 研究双排桩最优排距, 为以后双排桩设计提供借鉴。

1 有限元分析

1.1 有限元模型

运用有限元软件 PLAXIS 对基坑开挖过程进行模拟。假设基坑变形为平面应变模型, 土体采用莫尔-

库仑弹塑性模型, 桩体为二维弹性模型, 且不考虑桩间土的绕流, 图 1 即为分析模型。

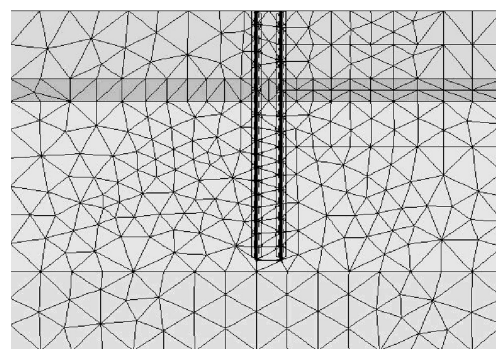


图 1 有限元分析模型

Fig. 1 FEM model

土体采用 15 节点三角形单元, 将桩体等效为板桩, 连梁为线弹性梁单元, 模型尺寸为 $40\text{ m} \times 30\text{ m}$ 。前后排桩等效刚度为 $EI = 1.4 \times 10^6\text{ kN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$, 连梁等效刚度 $EI = 1.2 \times 10^6\text{ kN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$, 双排桩桩长均为 22 m ,

连梁截面为 1 m×0.8 m, 模拟中的开挖工况如表 1。该模型的土质参数和力学参数见表 2。

表 1 模拟开挖工况
Table 1 Working conditions

工况	一	二	三
开挖深度	至冠梁下 3 m	至冠梁下 7 m	至冠梁下 11 m

表 2 土层计算参数
Table 2 Parameters of soil strata

土层	厚度 /m	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	泊松比 ν	模量 $E/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-2})$
素填土	6	17.5	7.5	10	0.3	2000
粉土	2	19	15	17	0.31	8000
粉质黏土	15	19.3	30	31	0.32	6500
黏土	7	20	30	20	0.35	14000
风化岩						

1.2 计算结果分析

利用有限元建立分析模型, 在其它条件不变下, 通过变化不同排距, 分析双排桩内力和变形的影响。 D 表示桩径, 模拟排距在 $2D$ 、 $3D$ 、 $4D$ 、 $5D$ 条件下的支护桩体弯矩和变形。由图 2 不同桩距下弯矩图得出, 排距由 $2D$ 增大到 $3D$ 时, 前后排桩的弯矩值相差明显。坑底以上, $2D$ 条件下前排桩的弯矩值在桩顶 $1/3$ 范围内大于 $3D$ 、 $4D$ 和 $5D$ 排距条件下的弯矩值, 在开挖面以下, 排距越大, 弯矩越小。

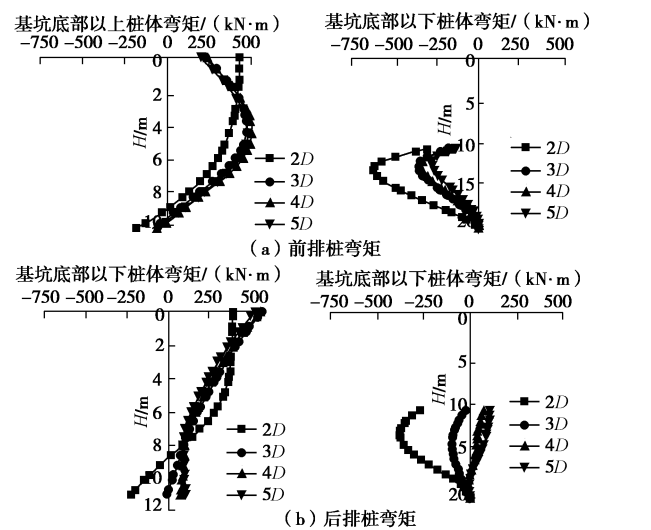


图 2 不同排距下双排桩弯矩图

Fig. 2 Bending moments of double-row piles with different row distances

排距的变化对后排桩弯矩的影响, 在坑底以上桩顶 $1/3$ 范围内, 除 $2D$ 条件下相对于 $3D$ 、 $4D$ 、 $5D$ 小, 随着排距增加弯矩呈现减小趋势。在坑底以下, 当排距由 $2D$ 变为 $3D$ 、 $4D$ 时弯矩值不断减小, 但随着排距增大到 $5D$ 时, 弯矩反增加, 因此合理布置桩排距

能最大限度发挥前后排桩的控制变形作用。

对双排桩支护结构内力, 随着排距的增加, 弯矩值不断减小, 由 $2D$ 排距变为 $3D$ 排距下, 弯矩值变化最为显著, 说明了排距变化对支护结构产生了积极影响, 但是排距对支护结构内力影响也不是无限度的, 当排距变大到 $5D$ 时, 明显看出支护结构内力变化微幅, 因此双排桩排距在 $2D\sim 4D$ 范围内为最优。

桩排距的变化对支护结构的变形也产生了重要影响, 由图 3 变形图得出随着桩排距的变大, 开挖面以上支护结构的变形减小, 但开挖面以下支护结构的变形却增加, 因此合理的选择双排桩桩距能够有效控制支护结构体的变形。

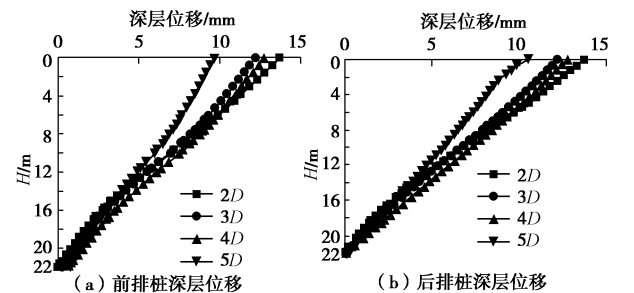


图 3 不同排距下双排桩变形图

Fig. 3 Deformations of double-row piles with different row distances

2 实例分析

2.1 工程概况

济南保利大明湖花园综合楼, 基坑开挖深度为 $11\sim 13\text{ m}$ 。地层条件由上向下分别为杂填土, 素填土, 粉质黏土, 粉土, 粉质黏土, 粉质黏土, 粉质黏土等。周围环境复杂, 基坑北侧紧邻两栋居民楼最近距离 4 m 且为沉管基础, 基坑西侧为住宅楼, 距离基坑南侧为道路且下设热力, 路灯, 污水煤气管线。

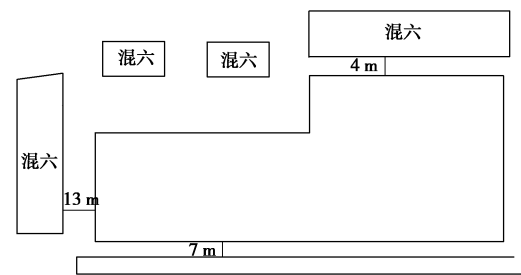


图 4 基坑周边环境图

Fig. 4 Surroundings around excavation

综合考虑地质、周围环境条件和工程造价等因素, 基坑北侧东部和西部采用双排桩支护结构, 部分采用双排桩加锚杆支护; 基坑南侧单排灌注桩加锚杆支护结构, 围护结构外布置高压旋喷桩止水帷幕, 基坑内采用管井降水, 为了避免降水对周围环境的影

响,在基坑围护结构外采取管井回灌。具体的设计参数:①悬臂双排桩桩径 1000 mm,双排距 2000 mm;带锚双排桩桩径 800 mm,双排距 3200 mm,桩长 20 m,混凝土设计强度 C30,共 281 根;②冠梁及连梁,高 800 mm,宽 1000 mm,混凝土设计强度 C30;③高压旋喷桩,桩长 15 m,桩距 0.7~1.4 m,搭接不小于 300 mm。④锚索,13.5~16 m,锚固段 7.5~9 m,预应力 70 kN。

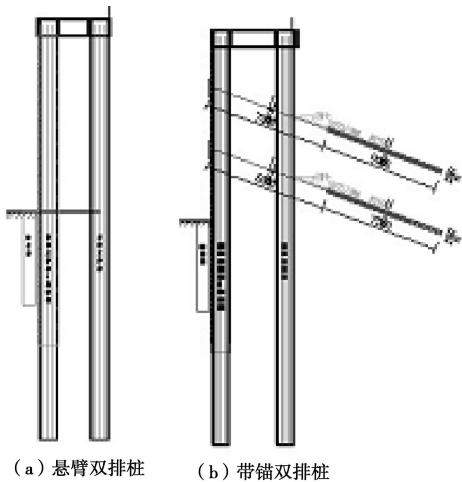


图 5 双排桩剖面图

Fig. 5 Profile of double-row piles

针对该工程场地狭小、周边环境复杂特点,制定了合理的施工方案:采用了分区分块,分层开挖的施工步骤,对悬臂双排桩支护区段开挖取 3 m, 7 m, 11 m, 3 个工况,紧后施工基础承台和地下室底板作为支撑点,这样有效的控制基坑的变形。

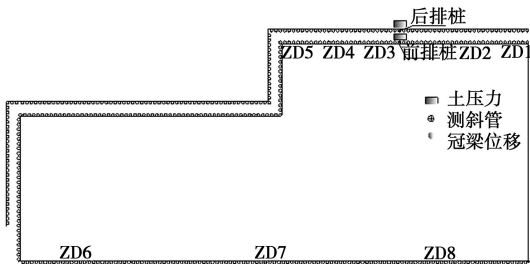


图 6 基坑监测布置图

Fig. 6 Layout of excavation monitoring

2.2 实测结果分析

对 2 倍桩排距双排桩支护结构在开挖过程进行了实时监测,主要包括 3 个方面:冠梁水平位移,土体深层位移和桩后土压力。

图示 6 为冠梁水平位移随时间变化的过程,其中水平位移 ZD3 为悬臂双排桩较长边中间处,ZD1 和 ZD5 处于靠近基坑转角处的测点,明显的图示看出 ZD3 水平位移明显的大于处于角隅测点处的位移,呈现出显著地空间效应,基坑南侧的单排桩中间测点位

移明显大于两侧测点位移,且位移量远远超过双排桩顶冠梁位移,最大值 34 mm,达到了极限平衡的控制报警值,测点附近同时出现了裂缝,由此也看出双排桩在控制变形方面优于单排桩。

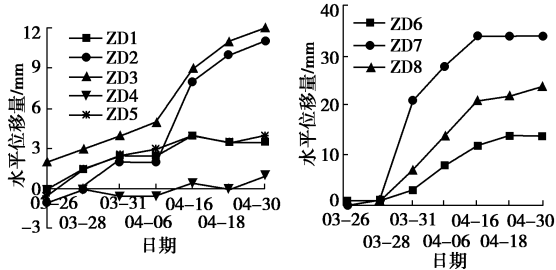


图 7 实测冠梁水平位移随时间变化曲线

Fig. 7 Horizontal displacements of top beam

基坑开挖过程中,处于基坑中间区段的测点明显随着时间的推移,水平位移在不断增长,由图 7 悬臂前排桩实测与计算看出,随着开挖的进行,前排桩呈现向基坑内运动的趋势,大体上支护结构底部的 1/3 范围内位移趋于 0,挖面以上支护结构的位移远大于于开挖面以下。由于冠梁的约束作用,支护结构顶部的位移发展被抑制,所以自冠梁底下 1 m 左右的位移大于冠梁顶面的位移。当基坑开挖至 3 m 时候,整个前排桩的位移很小,开挖至 7 m 时,桩体向坑内变化趋势增强,但桩体底部位移量同样很小;当基坑开挖到设计深度 11 m 时,开挖面以上位移量达到了最大值,基坑开挖面以下,由于桩体的嵌固深度同样很大,桩体的位移量一直处于稳定。在整个开挖期内,前排桩的变形一直处于平稳变化状态,未出现较大的突变现象,向坑内变形量在 12 mm 内,同冠梁的水平位移量相差小于 10%且远远小于达到极限平衡状态的报警值 30 mm。

与前排桩相对应的后排桩在土方开挖过程中,首先出现了图 7 悬臂后排桩实测的变形曲线,在开挖到 3 m 时,后排桩的变形是沿桩整体向坑内变化,在桩体较深的底部,桩体的位移量比前排桩的位移量要大 30%。同前排桩类似,由于冠梁及连梁的刚度较桩体大,冠梁深度范围内的变形小与冠梁下 1 m 范围的位移,所以双排桩的设计中冠梁和连梁的合理设计,能够合理的控制桩体的变形。在基坑开挖过程中,由于桩间土和连梁变形协调作用,抑制了前排桩变形的过快发展,在开挖到 7 m 时候,前排桩端部 6 m 范围内,向坑内运动变形相对较大,同时后排桩也出现与之相协调变形,在连梁及桩间土的作用下,协同前排桩共同变形,且有效抑制了前排桩的变形值;基坑开挖到设计深度 11 m 后,桩底部 1/3 范围内位移几乎不发生变化,而开挖面以上的变形不断加剧。

图 7 (b) 是 2 道锚杆的双排桩支护结构,前排桩

在开挖过程中的变形,看出在开挖过程中结构的变形控制在 7 mm 以内。通过图 7(c)带锚和悬臂双排桩的对比,可以看出带锚结构支护形式下的变形控制更好,较适用于软弱地层且变形控制要求较高的地块,但需要一定的地下施工空间,对于周围有深基础的场地不宜选用。相对于悬臂双排桩,带锚支护的双排桩在基坑开挖后,变形增大,随着锚杆的施工桩体变形又回弹,是一个不断协调过程,在沿桩体变形图上不再严格体现出弯曲的变形趋势,而是有不断的跳跃变化点,这这也体现出了拉锚控制变形作用。

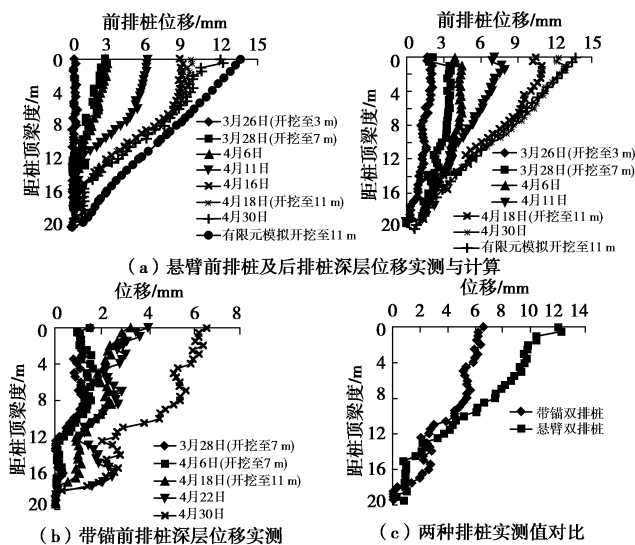


图 8 深层位移图

Fig. 8 Horizontal displacements of piles

由图8桩身截面弯矩图,得出在桩排距为 $2D$ 情况下,基坑开挖至3 m,前排桩产生较大弯矩,而后排桩此时的内力值不足前排桩的50%,坑顶以上前排桩受拉,坑底以下受压,后排桩的内力则比较复杂不能简单归一为某种形式;随着开挖进行到7 m时,前排桩弯矩值继续变大,增大了大约15%,后排桩此时发挥了作用,增幅值超过了200%;开挖至基坑底部时,前排桩弯矩继续增大,坑顶以上弯矩增幅20%,而坑底以下的最大弯矩值急剧增加,超过了3倍,后排桩同时也产生同样趋势的变化,因此开挖到设计深度时,要及时施工坑内垫层及其地下室底板,能形成支撑,减小支护结构的内力,以此来保证基坑的安全。

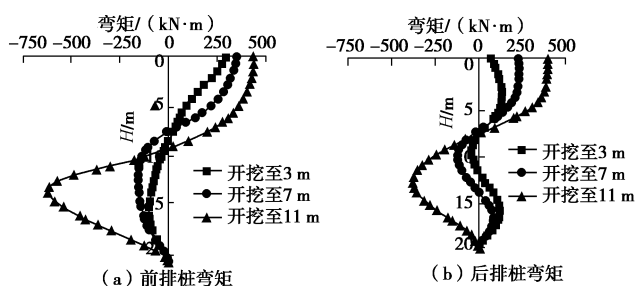


图 9 桩身截面弯矩

Fig. 9 Bending moments of piles

3 土压力分析

图 9 是排桩后于 5 m, 10 m 深度处土压力测点,在同深度后排桩上的土压力比前排桩上的土压力大。由前排桩与后排桩的土压力测点时程图 9 可以看出,在 5 m 处测点随着开挖的进行,作用于与前排桩上土压力不断减小,基坑开挖到底,最大水平位移为 12 mm,与达到理论极限平衡的位移 ($10.1\% \sim 0.33\%$) H 相差较大,作用于前排桩体上的土压力与主动土压力值相差较大,因此桩间的土压力介于静止土压力和主动土压力之间,由于前后排桩间距小 ($2D$) 可认为作用于前排桩上的主动土压力等于作用于后排桩的被动土压力,因此后排桩体位移量小于前排桩,这可由图 7 验证。

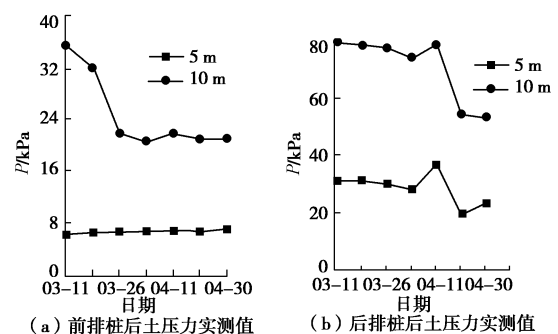


图 10 土压力随时间变化图

Fig. 10 Variation of earth pressure with time

4 结 论

(1) 双排桩支护结构中,最优排距在 $2D \sim 4D$ 间,才能有效的发挥前后排桩协调作用,使前后排桩的内力分布趋于合理,减小结构配筋,降低工程造价。还能控制支护结构的变形,保证基坑安全。

(2) 双排桩中前后排桩的变形是通过连梁和桩间土协调统一的,因此在基坑开挖中过程,配合合理的施工方案,且有效的利用基坑的时空效应,能够有效减小支护结构的变形,保证基坑的安全。

(3) 带锚双排桩较悬臂双排桩桩径减小 20%,排距增大一倍的情况下,仍能有效的控制支护变形,且降低了支护工程的造价。

参考文献:

- [1] 何颐华, 杨斌, 金宝森, 等. 双排护坡桩试验与计算的研究[J]. 建筑结构学报, 1996, 17(2): 58 - 56. (HE Yi-hua, YANG Bin, JIN Bao-sen, et al. A study on the test and calculation of double-row fender piles[J]. Journal of Building Structures, 1996, 17(2): 58 - 56. (in Chinese))
- [2] 郑刚, 李欣, 刘畅, 等. 考虑桩土相互作用的双排桩

- 分析[J]. 建筑结构学报, 2004, **25**(1): 99 - 106. (ZHENG Gang, LI Xin, LIU Chang, et al. Analysis of double-row piles in consideration of the pile-soil interaction[J]. Journal of Building Structures, 2004, **25**(1): 99 - 106. (in Chinese))
- [3] 聂庆科, 胡建敏, 吴 刚. 深基坑双排桩支护结构上的变形和土压力研究[J]. 岩土力学报, 2008, **29**(11): 3089 - 3094. (NIE Qing-ke, HU Jian-min, WU Gang. Deformation and earth pressure of a double-row piles retaining structure for deep excavation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, **29**(11): 3089 - 3094. (in Chinese))
- [4] 曹俊坚, 平 扬, 朱长歧, 等. 考虑圈梁空间作用的深基坑双排桩支护计算方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, **18**(6): 709 - 712. (CAO Jun-jian, PING Yang, ZHU Chang-qi, et al. Study on the calculation method of bracing with double-row piles of deep foundation pit with consideration of the spatial influence of the ring beam[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1999, **18**(6): 709 - 712. (in Chinese))
- [5] 王 军, 王 磊, 肖昭然. 双排桩支护排距的有限元分析与研究[J]. 地下空间与工程学报, 2005, **1**(6): 1096 - 1099. (WANG Jun, WANG Lei, XIAO Zhao-ran. Analysis of the interval between double-row piles by finite element method[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, **1**(6): 1096 - 1099. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)