

水中双排钢板桩的工作性状研究及参数分析

张宏华

(盐城市第二交通工程处,江苏 盐城 224005)

摘要:基于平面刚架模型,结合实际工程,建立基准有限元模型,详细探讨了桩间土弹簧系数、桩顶系梁刚度、基坑开挖深度、水位计算高度、桩间距等主要结构参数对钢板桩的桩顶水平位移和桩身应力的影响规律,为工程人员设计此类支护结构提供参考依据。

关键词:双排钢板桩;嵌固稳定性;参数分析;土弹簧;桩间距

中图分类号:U448.27 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)04-0053-05

双排钢板桩支护结构由于整体稳定性好、施工方便,广泛应用于港口工程、建筑基坑工程中^[1-2]。其常用的设计计算方法^[3-4]有 2 种:1 种是将两排钢板桩简化为下端固定的悬臂梁,基于土压力理论和顶端拉杆变形协调条件计算结构受力;另外 1 种是将两排钢板桩独立地当做单排桩计算。2 种方法都有一定的缺陷,计算结果与实际结果误差都较大。本文基于弹塑性有限单元法,考虑桩间土体的侧限约束作用,采用平面刚架模型对双排钢板桩围堰体系的受力变形特性进行较为深入和全面的分析和探讨,并通过参数分析,揭示双排钢板桩支护结构整体受力的影响规律。该方法因合理确定桩间土的反力与变形关系,计算的内力与位移随参数变化规律较好,计算结果与工程实测吻合度较好。

1 工程概况

盐湾河小桥项目位于盐城市亭湖区,其桥台位于热水河中间,桥台基坑开挖深度距桥位处地面 5.0 m(基坑底标高 -2.6 m,地面标高 2.4 m),距热水河水面 4.12 m(测时水位 1.02 m,计算水位 1.52 m)。因热水河不能断流,而绕道改河又造价较大,因此,采用钢板桩围堰法进行隔水阻土施工。因基坑面较大且形状不规则,无法设置水平支撑,采用单排悬臂钢板桩又不能满足基坑变形控制要求,因此,采用双排桩支护形式。双排桩前后两排桩通过连梁形成空间门架式支护结

构体系,可大大增加其侧向刚度,有效限制基坑的侧向变形。施工时采用 12 m 长的拉森 IV 型钢板桩,双排布置,排间距 2.0 m,入土深度 7.4 m,结构布置形式如图 1 所示。

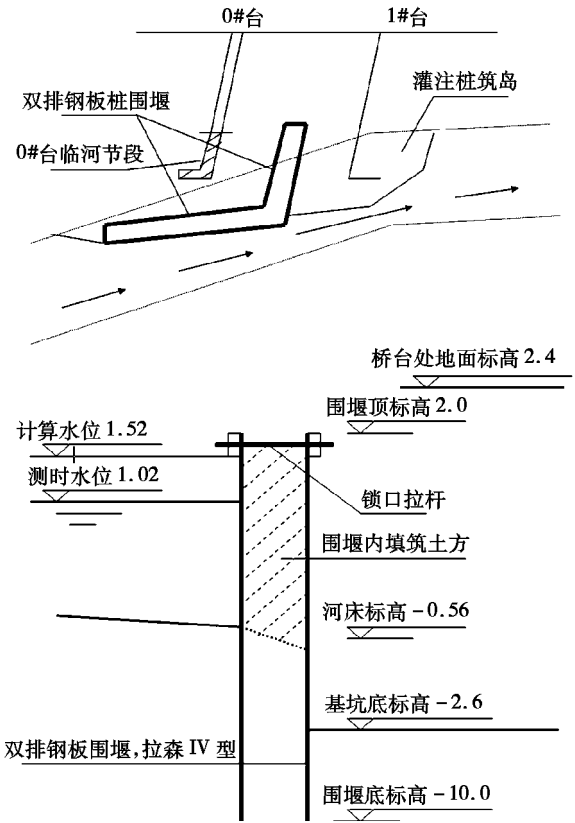


图 1 双排钢板桩支护结构布置图(m)
Fig. 1 Layout of double-row steel sheet pile supporting structure

场地处土质主要为粉质粘土,土的重度取 16.4 kN/m^3 、内摩擦角 12° 、粘聚力取值 16 kPa 。土的压缩弹性模量取 5 MPa 。

2 有限元分析

双排钢板桩支护结构可简化为前排桩、后排桩和桩顶系梁组成的平面刚架结构模型进行计算分析,如图 2 所示。

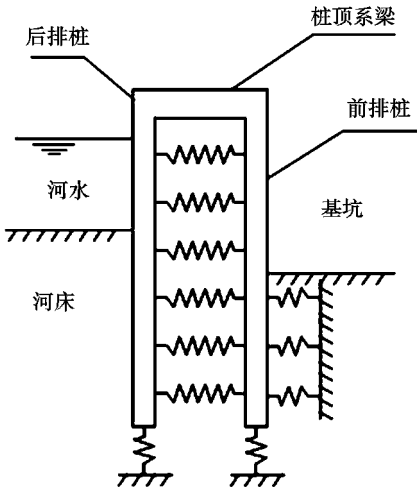


图 2 平面刚架计算模式

Fig. 2 Calculation model of plane rigid frame

如何确定夹在前后排桩之间土体的反力与变形关系,是解决双排桩计算模式的关键^[5-6]。本模型采用土的侧限约束假定,认为桩间土对前后排桩的土反力与桩间土的压缩变形有关,并将桩间土看作水平向单向压缩体,按土的压缩模量确定水平刚度系数;同时,考虑基坑开挖后桩间土应力释放后仍存在一定的初始压力,计算土反力时应反映其影响。

前后排桩之间土体的反力与变形关系如下式所示。

$$p_s = k_s \Delta v + p_{s0} \tag{1}$$

其中, p_s 为前、后排桩间土体对桩侧的压力(可按作用在前、后排桩上的压力相等考虑), kPa ; k_s 为桩间土的水平刚度系数,即桩间土弹簧系数, kN/m^3 ; Δv 为前、后排桩水平位移的差值(当其相对位移减小时为正值,当其相对位移增加时,取 $\Delta v = 0$), m ; p_{s0} 为前、后排桩间土体对桩侧的初始压力(可按桩间土自重占滑动体自重的比值关系确定), kPa 。

采用有限元分析软件进行计算分析时,桩间

土弹簧可以采用单向弹性只受压连接来模拟,即前、后桩相对位移增加时,弹簧刚度为 0。

经过有限元分析,双排钢板桩的内力及变形状态分布如图 3 所示。钢板桩的桩身最大应力(拉应力)为 56.4 MPa ,最小应力(压应力)为 -61.3 MPa ,桩顶最大水平位移为 47.6 mm 。因此,该双排钢板桩结构的整体受力和变形情况满足规范要求。

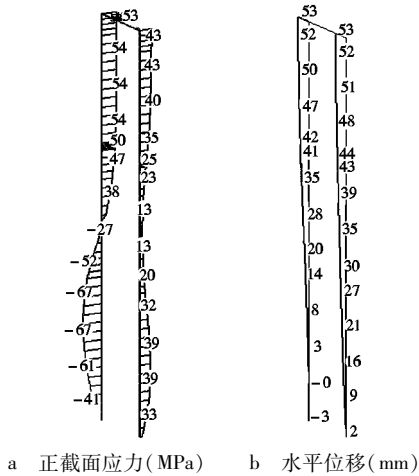


图 3 双排钢板桩的内力与变形状态分布图

Fig. 3 Distribution map of internal force and deformation state of the double row steel sheet piles

双排桩的嵌固稳定性验算与单排悬臂桩类似,应满足作用在后排桩上的主动土压力与作用在前排桩嵌固段上的被动土压力的力矩平衡条件。与单排桩不同的是,在双排桩的抗倾覆稳定性验算中,是将双排桩与桩间土看作整体作为力的平衡分析对象,并且考虑了土与桩自重的抗倾覆作用^[7]。

采用下式进行验算。

$$\frac{E_{pk}z_p + Gz_G}{E_{ak}z_a} \geq K_{em} \tag{2}$$

其中, K_{em} 为嵌固稳定安全系数,对于安全等级为 3 级的支护结构取 1.15; E_{ak} 、 E_{pk} 分别为后排桩主动土压力标准值、前排桩被动土压力标准值, kN ; z_a 、 z_p 分别为后排桩主动土压力合力点距支护构件底端的距离、前排桩被动土压力合力点距支护构件底端的距离, m ; G 为桩身及桩间土的自重, kN ; z_G 为桩身及桩间土的重心距前排桩的水平距离, m 。

分别计算桩后、桩前的主动土压力、被动土压

力,然后根据式(2)计算得到双排钢板桩入土深度为7.4 m时,其嵌固稳定性系数为1.72,满足技术规程要求。

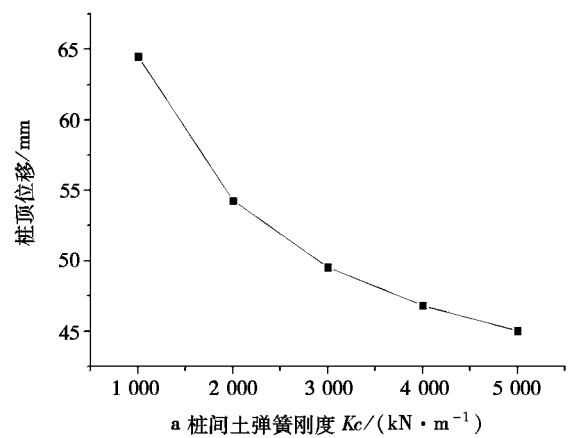
3 参数分析

由前面的分析可知,选定钢板桩型号后,双排钢板桩支护结构的受力状态主要与桩间土弹簧系数、桩顶系梁刚度、基坑开挖深度、水位计算高度、桩间距等结构参数密切相关。下面基于有限元模型,重点探讨这些主要结构参数的变化对于双排钢板桩支护结构整体受力的影响规律,为类似工程的优化设计提供技术参考。

参数分析时,以前面安装工程实际情况建立的有限元模型为基准有限元模型,在此基础上,改变各主要结构参数的取值,分析参数取值变化对结构受力特性的影响规律。

3.1 桩间土弹簧系数

在基准有限元模型的基础上,桩间土弹簧刚度 K_c 分别取 1 000 $kN/m \sim 5\,000\,kN/m$ 。不同桩间土弹簧刚度下桩顶水平位移及桩身应力变化情况如图 4 所示。从图 4 可以看出,随着桩间土弹簧刚度的增加,桩顶水平位移逐渐减小,桩身应力也逐渐减小但趋于稳定。



3.2 桩顶系梁刚度

本模型桩顶系梁采用 H 型钢,系梁刚度主要取决于其高度,高度越大,系梁的刚度也越大。在基准有限元模型的基础上,为简便起见,系梁高度分别取 0.2 ~ 1.0 m,以反映桩顶系梁刚度的变化。不同桩顶系梁刚度下桩顶水平位移及桩身应力变化情况如图 5 所示。从图 5 可以看出,随着桩顶系梁刚度的增加,桩顶水平位移逐渐减小后逐渐趋于稳定,且变化量较小,桩身应力的变化量也不大,说明桩顶系梁刚度变化对桩顶水平位移

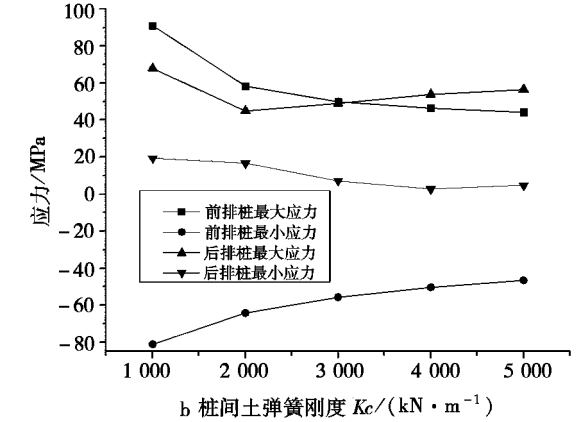


图 4 桩间土弹簧刚度变化时的结构响应变化情况
Fig.4 Variation of structural response when the stiffness of soil spring varies between piles

及桩身应力的影响不大。

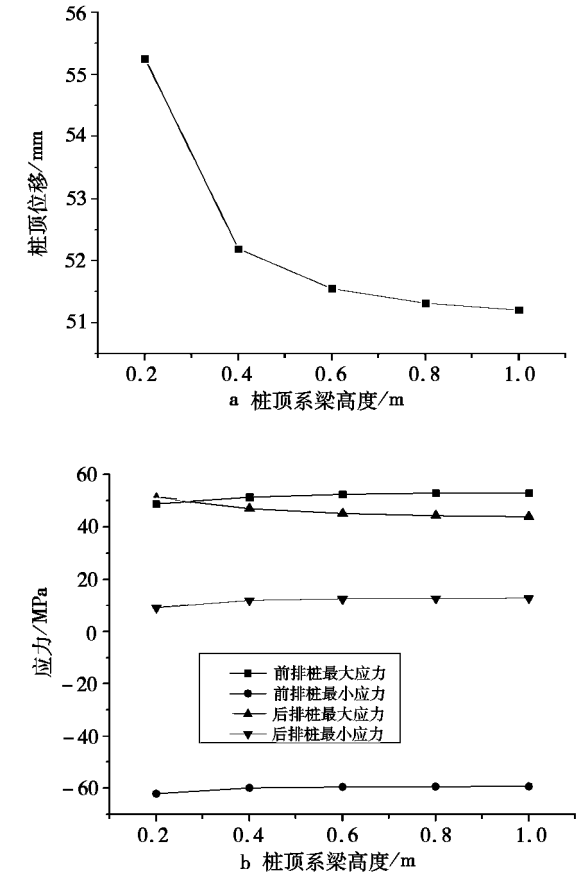


图 5 桩顶系梁刚度变化时的结构响应变化情况
Fig.5 Variation of structural response when the pile tie beam stiffness varies

3.3 基坑开挖深度

在基准有限元模型的基础上,基坑开挖深度 H 分别取 1.0 ~ 5.0 m,用于模拟整个开挖过程。

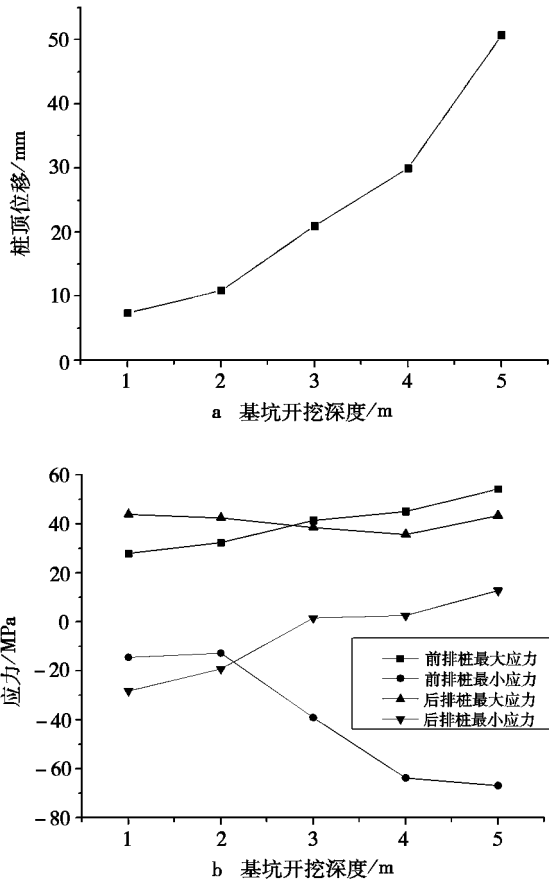


图 6 基坑开挖深度变化时的结构响应变化情况
Fig. 6 Variation of structural response when the excavation depth of the foundation pit varies

不同基坑开挖深度下桩顶水平位移及桩身应力变化情况如图 6 所示。从图 6 可以看出,随着基坑开挖深度的增加,桩顶水平位移迅速增加,桩身应力也逐渐增大。

3.4 水位计算高度

在基准有限元模型的基础上,水位计算高度分别取 -0.6 ~ 2.4 m,用于模拟枯水期和汛期不同季节施工时水位的变动情况。不同水位计算高度下桩顶水平位移及桩身应力变化情况如图 7 所示。从图 7 可以看出,随着水位计算高度的增加,桩顶水平位移迅速增加;前排桩的压应力增加,拉应力变化不大;后排桩的应力也略有增加。

3.5 桩间距

在基准有限元模型的基础上,桩间距分别取 1.0 ~ 3.0 m。不同桩间距下桩顶水平位移及桩身应力变化情况如图 8 所示。从图 8 可以看出,随着桩间距的增加,桩顶水平位移迅速减小,桩身应力略有增加。

4 结论

双排钢板桩为刚架结构,其抗侧移刚度远大于单排悬臂桩结构,在相同的材料消耗条件下,双排桩刚架结构的桩顶位移明显小于单排悬臂桩,且基坑内不需设置水平支撑,不影响基坑开挖、地下结构施工,工期短,在特定条件下的支护结构方案比选中具有一定的优势。

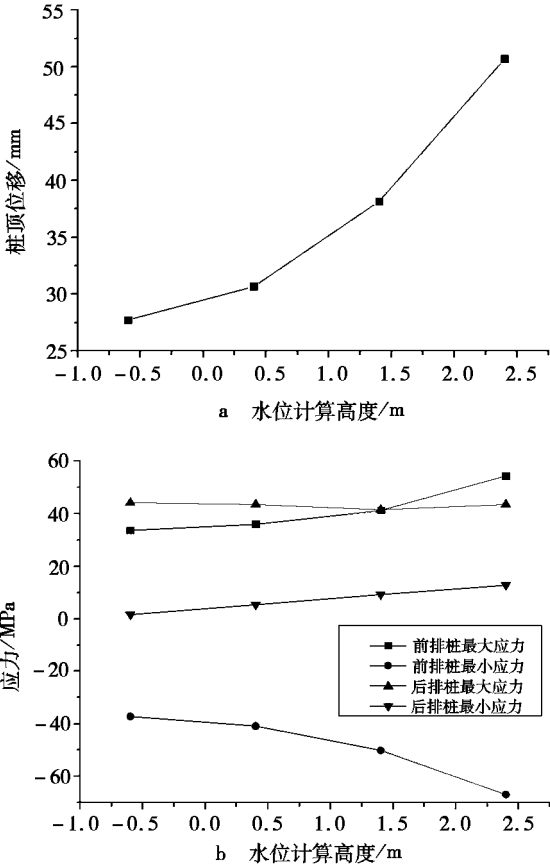
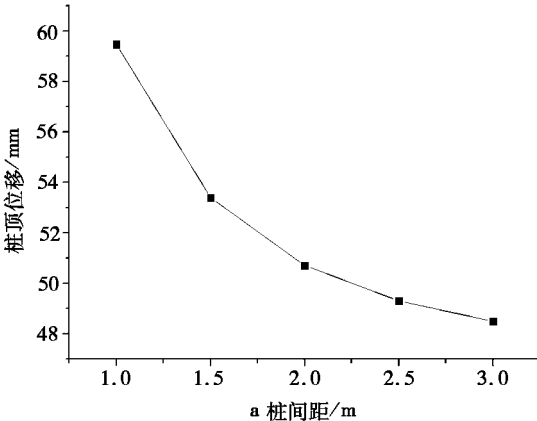


图 7 水位计算高度变化时的结构响应变化情况
Fig. 7 Variation of structural response when the height of the water level calculation varies



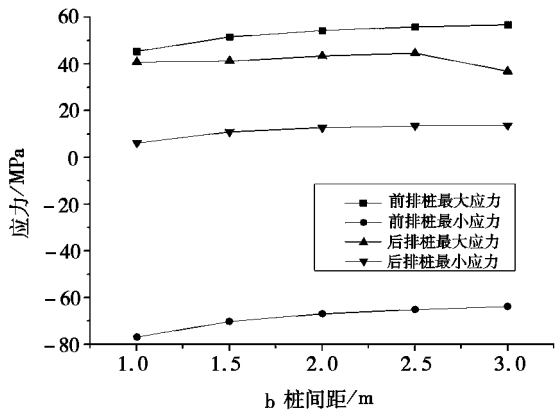


图 8 桩间距变化时的结构响应变化情况
Fig.8 Variation of structural response when the spacing of the pile varies

通过双排钢板桩平面刚架模型的计算分析及主要结构参数的分析,得出如下结论:

(1) 桩间土弹簧刚度及桩间距对桩顶水平位移影响较大。为减小桩顶水平位移,应选用压缩模量较大的桩间土,同时加大前后排桩的间距。

(2) 随着基坑开挖深度的增大,双排钢板桩的桩顶位移迅速增加,桩身应力也不断增加。施工过程中应跟踪监测结构应力和位移变化情况。

(3) 随着水位计算高度的增加,桩顶水平位移迅速增加,桩身应力也有所增加,因此,施工时宜优先选择枯水期施工。

(4) 随着桩顶系梁刚度的增加,桩顶水平位移逐渐减小后逐渐趋于稳定,设计时可优化选择桩顶系梁的结构型式。

参考文献:

[1] 张玉成,杨光华,姜燕,等. 软土地区双排钢板桩围堰支护结构的应用及探讨[J]. 岩土工程学报,2012,34(S1):659-665.

[2] 王景艳. 桥梁双排钢板桩围堰的施工技术探究[J]. 交通建设与管理,2015(8):220-221.

[3] 李玉伟,谢蒙,丰土根,等. 软土地基双排钢板桩围堰数值分析[J]. 水利水电技术,2015,46(9):40-44.

[4] 江杰. 船坞双排钢板桩围堰施工过程的数值模拟分析[J]. 水运工程,2011(12):144-147.

[5] 崔春义,黄建,孙占琦,等. 不同水位下钢板桩围堰工作性状有限元分析[J]. 广西大学学报(自然科学版),2010,35(1):187-192.

[6] 侯永茂,王建华,顾倩燕. 大跨度双排钢板桩围堰的变形特性分析[J]. 上海交通大学学报,2009,43(10):1 577-1 580.

[7] 高加云,顾倩燕,李小军. 软土地基大跨度双排钢板桩围堰结构稳定性研究[J]. 水运工程,2009(S1):50-55.

Work Character Study and Parameters Analysis of Double-row Steel Sheet Piles in Water

ZHANG Honghua

(The Second Traffic Engineering Department of Yancheng City, Yancheng Jiangsu 224005, China)

Abstract:Based on plane rigid frame model, combined with practical engineering, the benchmark finite element model is established. The influence of the main structural parameters such as the soil spring coefficient between piles, the stiffness of the pile top beam, the excavation depth of the foundation pit, the height of the water level calculation and the spacing of the pile on the horizontal displacement of pile top and pile stress are discussed in detail.

Keywords:double-row steel sheet piles; build-in stability; parameters analysis; soil spring; pile spacing

(责任编辑:张英健)