



排架空间结构 在水平力作用下的横向位移分析

吴海根

(江苏省交通科学研究院股份有限公司, 江苏 南京 210019)

摘要: 运用 ANSYS 有限元数值分析软件建立了高桩排架空间结构模型, 计算分析叉桩排架在水平力作用下, 各个桩基的位移沿桩长的变化规律, 并与规范公式计算结果进行对比, 二者的分析结果十分吻合。研究了水平力在排架中的分配系数规律, 发现水平力的大小对分配系数也有一定影响。

关键词: ANSYS 有限元; 高桩排架空间结构; 横向位移

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)05-0143-05

Lateral displacement of shelf space structure under horizontal force

WU Hai-gen

(Jiangsu Transportation Institute, Nanjing 210019, China)

Abstract: This article establishes the model of a high-pile bent spatial structure by the finite element software of ANSYS to calculate and analyze the changes of the pile displacements along its length under horizontal forces. Comparing the results from the model with that from the normative formula, it is proved that the two are consistent with each other. At the same time, the law of the distribution coefficient about the horizontal force applied to the bent is researched, and it is found that the horizontal force also has some influence on the distribution coefficient.

Key words: ANSYS FEM; bent spatial structure; horizontal displacement

高桩码头在我国沿海及长江沿岸应用十分广泛, 一般泊位吨级较大, 使得码头结构承受较大的水平荷载, 其导致的应力应变对码头结构的使用具有重要影响。新的《港口工程桩基规范》中推荐了 *NL* 法、*M* 法、*P-Y* 曲线法共 3 种方法计算单桩在水平力作用下桩身内力及变形^[1]。本研究运用 ANSYS 有限元分析软件建立了包含 4 个排架的高桩码头空间结构的仿真模型, 分析排架中桩基的位移变形特性及荷载在各个排架中的分配情况。

1 高桩排架空间结构模型建立

1.1 ANSYS 数值模型基本参数^[2]

1.1.1 模型基本假定

基本假定如下: 1) 模型区域内土体为连续、

均质、各向同性的土体; 2) 土体的弹性模量和泊松比不因桩的介入而发生改变; 3) 桩土均为弹塑性体, 桩体假定为多线性各向同性硬化材料, 土体满足 Drucker-Prager 屈服准则; 4) 桩土接触部分设置接触面; 5) 桩体的类型为摩擦桩。

1.1.2 计算参数

排架结构使用 C40 强度混凝土, 上部结构弹性模量、泊松比等材料属性均与桩体相同。高桩码头排架结构模型的设计参数均参考南京港明州码头工程确定。

1.1.3 接触面设置

本研究对桩土的相互作用, 使用 ANSYS 中的接触面单元进行模拟分析。其中, 将桩体设为主

收稿日期: 2013-09-16

作者简介: 吴海根 (1962—), 男, 高级工程师, 主要从事港口航道工程设计、科研及施工管理。

接触面，土体设为从属接触面。当桩土互相接触时，法向接触力通过接触面之间建立的接触约束相互传递，接触面上建立的离散单元节点对之间满足位移协调条件和胡克定律。接触面间传递法向力的同时也传递切向力。土体与桩之间为硬接

触，即土体和桩体互不渗透，接触面法向力仅为压力，切向力为摩擦力，接触面的摩擦系数设定为 0.2。土体密度 19.5 t/m^3 ，弹性模量 E_p 为 8.6 MPa ，泊松比 ν 为 0.3，粘聚力为 9 kPa ，内摩擦角为 33° ，膨胀角为 30° 。桩体参数见表 1。

表 1 桩体计算参数

材料名称	构件尺寸/(m×m)	弹性模量 E/MPa	惯性矩 I/m^4	泊松比 ν	长度/m	入土深度/m
直桩	0.6×0.6	3.25×10^4	0.010 8	0.2	38.0	28.0
斜桩(1:5)	0.6×0.6	3.25×10^4	0.010 8	0.2	38.8	28.6

1.2 模型建立

高桩排架空间结构模型由 4 个排架组成，每个排架设置 5 根桩，其中包含 1 对叉桩，每个排

架的结构模型见图 1。横梁结构为倒 T 字型，纵横梁结构尺寸见图 2。面板厚度设为 550 mm。

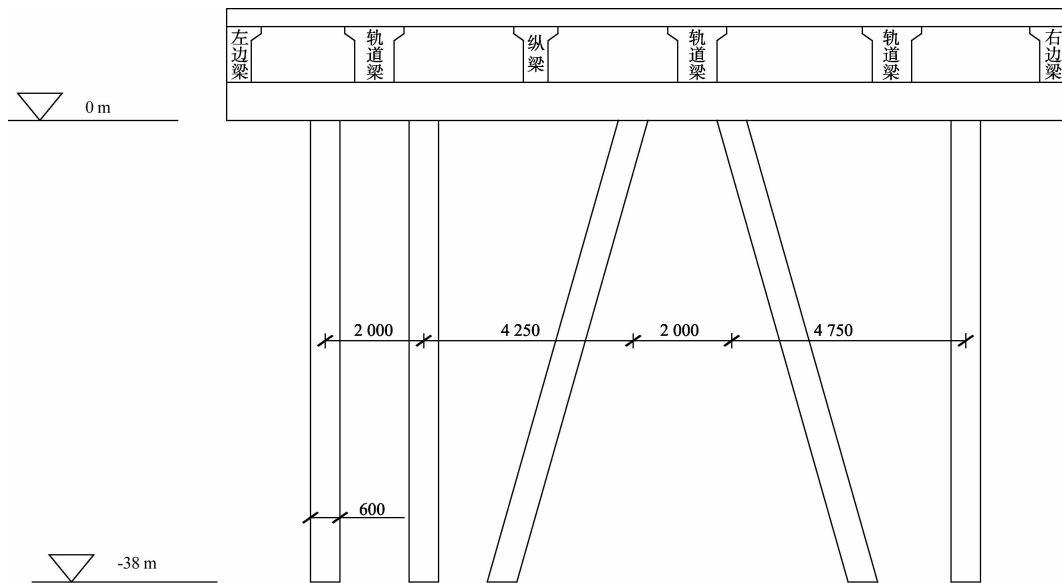


图 1 排架结构 (单位: mm)

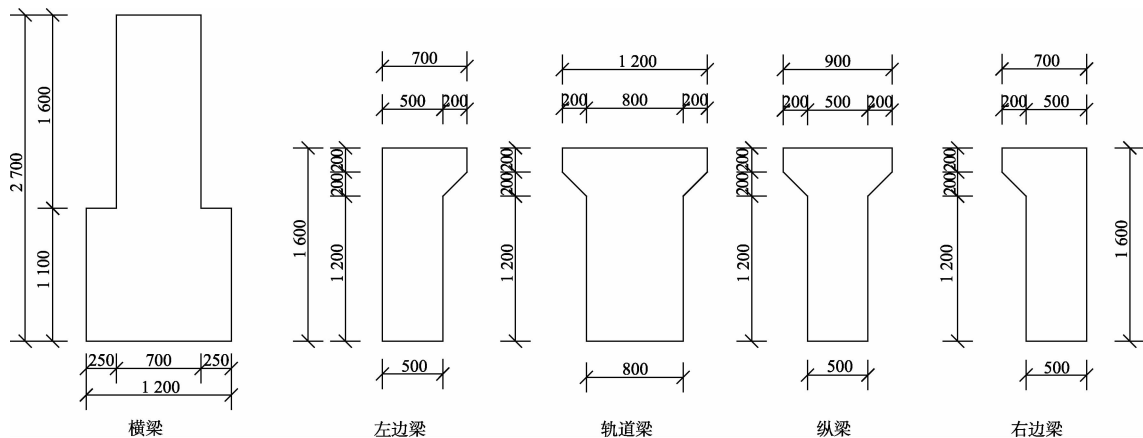


图 2 排架纵横梁结构尺寸 (单位: mm)

运用 ANSYS 有限元分析软件，建立高桩排架结构的三维模型。排架结构使用四面体十节点实

体单元 solid187 对其进行单元划分，土体结构使用四面体 10 节点实体单元 solid92 对其进行单元划

分，单元划分后的结构模型状况见图 3。

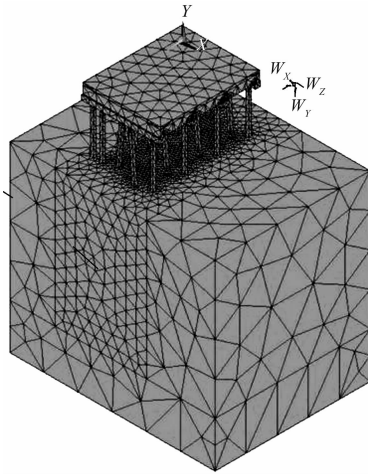


图 3 排架空间结构模型单元划分

桩土接触部分设置接触面单元进行分析，约束控制设定为土体前后左右底面 5 个面上的节点 3 个方向位移为零。图 4 显示了结构添加接触面单元后的状况，图 5 为添加约束控制后的单元状况。

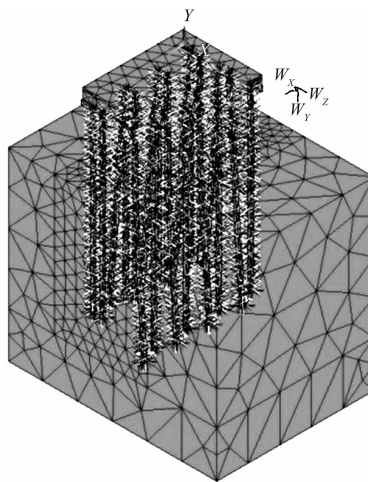


图 4 接触面设置

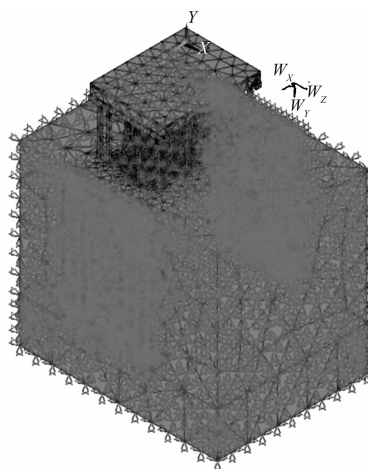


图 5 添加约束

1.3 模型计算结果

对边排架施加 800 kN 的水平荷载，计算排架的位移情况。图 6 为边排架在 800 kN 的水平荷载作用下，排架空间结构水平方向的位移情况。

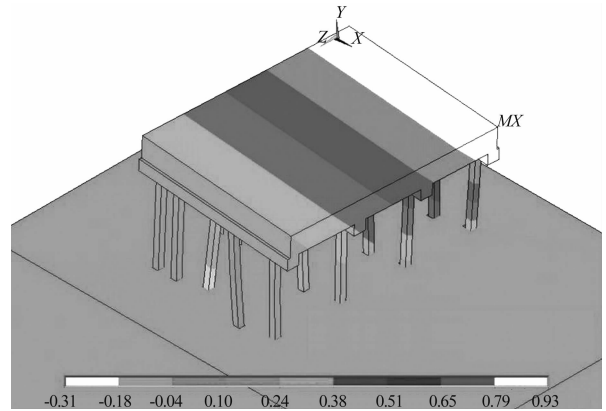


图 6 排架水平位移 (800 kN) (单位: m)

图 7 为排架结构在 800 kN 水平荷载作用的应力状态，每根桩的最大应力均出现在桩顶处，并且基本上左侧为压应力，右侧为拉应力，沿桩深方向至泥面处，逐渐转变为相反性质应力。整个排架的最大压应力（负应力）出现在 1# 排架 3# 叉桩桩顶左侧，最大拉应力（正应力）出现在 1# 排架的 1# 桩桩顶右侧。

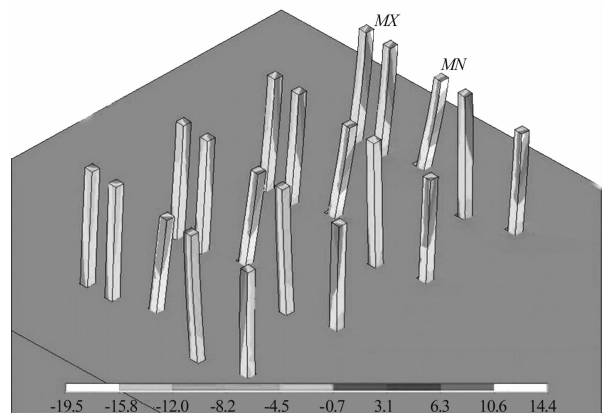


图 7 排架中桩基的应力状况 (800 kN) (单位: MPa)

2 高桩排架空间结构模型分析^[3-5]

2.1 空间结构仿真分析

对由 4 个排架构成的空间结构模型施加 800 kN 的水平荷载，荷载分别施加于边排架和中间排架之上。运用 Matlab 数学分析软件，分析排架中桩基位移沿桩长的分布规律。

图8分别显示了荷载作用于边排架、中间排架时，1#排架中5根桩的水平向位移沿桩长变化规律。从图中可以看出，由于横梁的连系作用，同一排架中桩顶的位移基本相同。泥面以下部分，直桩的横向位移基本在零附近波动，而3#叉桩均为负位移，4#叉桩均为正位移。

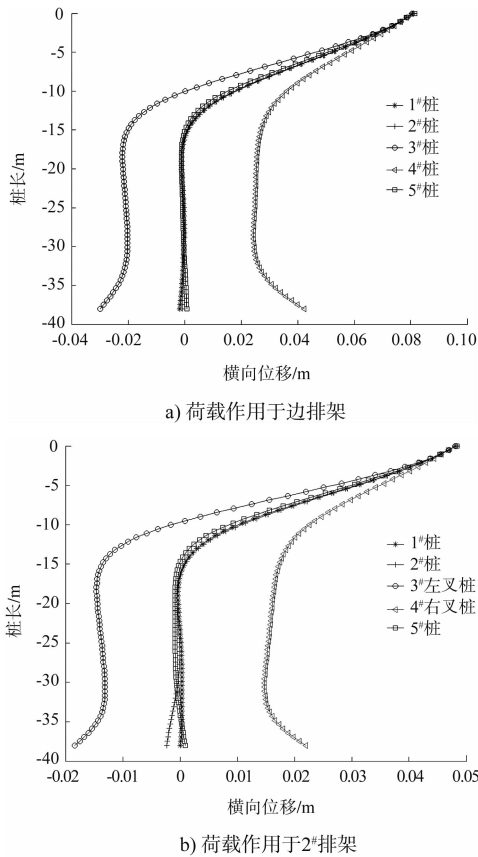
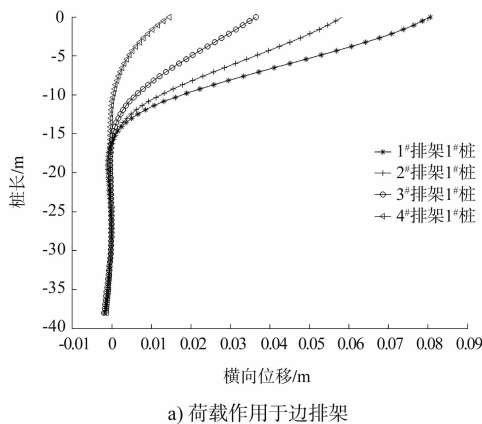
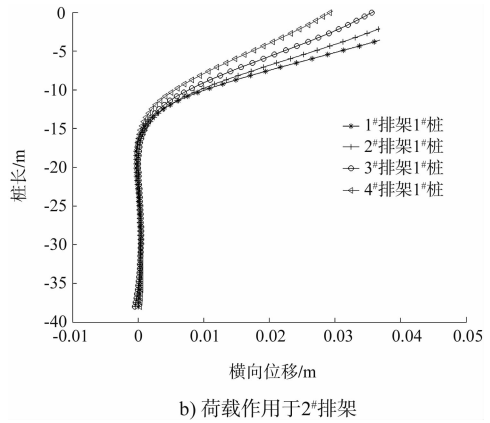


图8 桩长-位移1

图9分别显示了荷载作用于边排架、中间排架时，各排架中1#桩的水平向位移沿桩长变化规律。对比两幅图可以发现，当荷载作用于中间排架时，荷载在排架中的分配要更均匀一些。



a) 荷载作用于边排架



b) 荷载作用于2#排架

图9 桩长-位移2

2.2 理论对比分析

根据 JTS 167-4—2012 《港口工程桩基规范》，在水平力和力矩作用下，弹性长桩的桩身变形，可以用式(1)确定：

$$Y = \frac{H_0 T^3}{E_p I_p} A_y + \frac{M_0 T^3}{E_p I_p} B_y \quad (1)$$

式中： Y 为桩身在泥面或泥面以下的变形（m）； H_0 为作用在泥面处的水平荷载（kN）； T 为桩的相对刚度特征值（m）。

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{m b_0}} \quad (2)$$

式中： E_p 为桩材料的弹性模量（kN/m²）； I_p 为桩截面的惯性矩（m⁴）； A_y 和 B_y 为桩体变形的无量纲系数； M_0 为作用在泥面处的弯矩（kN·m）； m 为土的水平地基抗力系数随深度增长的比例系数（kN/m⁴）。

运用式(1)计算1#排架1#桩桩顶面至泥面以下10 m距离段桩体的位移结果，并与有限元数值模型计算结果进行对比，其中 m 值取4 000 kN/m⁴。图10为规范公式结果与有限元模型结果的对比，可见在计算区域内二者的位移变化线形比较接近，但是在桩顶和泥面附近二者计算结果有所差别，桩顶处位移差别较大。这是由于叉桩承受轴向荷载以及上部结构的连接作用导致的。

根据计算得出，1#桩所受到的水平荷载约占1#排架所受荷载的10%，进一步分析，得到其它2根直桩承担水平力的比例合计约15%，因此，可以认为在该单个排架中，约有75%水平力由叉桩承担。

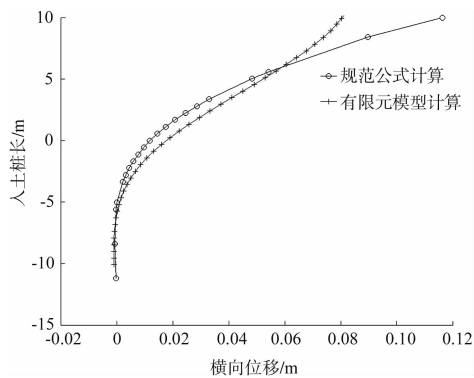


图10 规范公式与有限元模型计算结果对比

2.3 荷载在码头横向排架中的分配研究

表2列出了排架空间结构边排架(1[#]排架)、2[#]排架分别承受400,800,1000 kN水平荷载作用

表2 排架空间结构中各排架上部结构水平向位移

mm

荷载位置	边排架			2 [#] 排架		
	400 kN	800 kN	1 000 kN	400 kN	800 kN	1 000 kN
1 [#] 排架	36	81	100	28	61	77
2 [#] 排架	27	58	72	24	53	67
3 [#] 排架	17	37	44	21	45	56
4 [#] 排架	7	15	15	18	37	46

表3 排架空间结构中各横向荷载分配系数

%

荷载位置	边排架			2 [#] 排架		
	400 kN	800 kN	1 000 kN	400 kN	800 kN	1 000 kN
1 [#] 排架	42.29	42.40	43.37	30.67	31.04	31.37
2 [#] 排架	30.71	30.75	31.18	26.72	27.09	27.20
3 [#] 排架	19.23	19.19	19.03	23.11	22.98	22.87
4 [#] 排架	7.77	7.65	6.42	19.51	18.89	18.56

3 结语

1) 在有叉桩的排架中,水平力约有75%由叉桩承担。

2) 随着水平力的增大,靠近水平力作用位置的排架承受的分配系数会随之有所增加,水平力的大小对分配系数也有一定影响。

3) 当水平力作用越靠近边排架时,荷载在排架中的分配系数越不均匀。

时,排架空间结构中各横梁的水平向位移。

水平荷载在横向排架中的分配问题一直十分值得研究。不同的排架形式、连接方式及码头材料属性对排架分配系数都有影响^[3-5]。

本文分析的码头空间结构由4个排架组成,在承受400,800,1000 kN水平荷载时,每个排架的水平向位移数值见表2,依次计算出横向力在各个排架中的分配系数(表3)。从表3可以得出以下规律:

1) 随着水平荷载的增大,靠近荷载位置的排架承受的分配系数也会随之稍有增加;2) 根据数值仿真模型的计算结果,当边排架、2[#]排架承受水平荷载时,最大分配系数分别为43.37%和31.37%。

[2] 郑颖人,赵尚毅.岩土工程极限分析有限元法及其应用[J].土木工程学报,2005,38(1):91-98.

[3] 叶万灵,时蓓玲.桩的水平承载力实用非线性计算方法——NL法[J].岩土力学,2000,21(2):97-101.

[4] 叶万灵.地基反力法确定侧向承载桩的受力特性[J].港工技术与管理,2003(1):6-14.

[5] 刘松.高桩码头排架船舶撞击力分析系数的空间整体研究[J].港工技术,1998(2):24-34.

参考文献:

[1] JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S].

(本刊编辑)