

土体及遮帘桩对板桩码头影响的数值模拟分析

符传立¹, 郑永来¹, 杨蔚为²

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海 200333)

摘要: 利用有限差分分析软件对板桩码头进行数值模拟, 分析板桩码头中土体参数及遮帘桩对板桩码头板桩前墙的影响。对板桩码头土体参数改变时板桩前墙的受力情况进行模拟。模拟结果表明: 土体内摩擦角对前墙最大负弯矩的影响最大, 弹性模量次之, 粘聚力最小; 对于前墙最大正弯矩, 弹性模量的影响程度最大, 内摩擦角次之, 粘聚力对最大正弯矩的影响呈现起伏不定。针对遮帘桩安放位置对码头的影响情况, 模拟遮帘桩距离前墙 1~10 m 时板桩墙最大正、负弯矩的变化情况。模拟结果显示: 当遮帘桩距离前墙 2~5 m 时, 板桩墙的弯矩值处在一个较低的范围。

关键词: 板桩码头; 遮帘桩; 有限差分; 土压力

中图分类号: TV223

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)05-0203-04

Numerical simulation on effect of soil body and barrier pile on sheet-pile wharf

FU Chuanli¹, ZHENG Yonglai¹, YANG Weiwei²

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Water Engineering Design & Research Institute Co., Ltd, Shanghai 200333, China)

Abstract: The paper used finite difference analysis software to carry out numerical simulation for sheet-pile wharf, and analyzed the effect of soil body and barrier pile on the work behavior of sheet-pile wall. It simulated the stress state of sheet-pile wall when the parameter of soil body of sheet-pile wharf changes. The result showed that the effect of soil's internal friction angle on the maximum negative moment of wall is the largest, the modulus of elasticity is the second and, the cohesive force is the minimum. The effect of elasticity modulus on the maximum positive moment of wall is the largest, and then is the soil's internal friction angle, and the effect of cohesive force on that appears ups and downs. Aimed at the influence of position of barrier pile on the wharf, it simulated the variation situation of the maximum positive and negative moment of sheet-pile wharf when the distant of barrier pile to the front wall is one to ten meters. The result shows that when the distant of barrier pile to the front wall is two to five meters, the value of the bending moment of pile wall is at a lower range.

Key words: sheet-pile wharf; barrier pile; finite difference; soil pressure

板桩码头是港口工程码头建筑物的一种重要结构型式,其结构形式简单,造价低廉,施工周期短的独特优点使其在港口、游艇码头、船坞和其他水运工程中运用广泛。对典型板桩码头结构的计算理论和方法,大致有弹性线法、竖向弹性地基梁法和自由支承法等 3 种。然而,这些理论和方法至今仍处于不完全成熟阶段,如理论计算中关于入土段墙后主动土压力考虑由计算水底以上地面荷载加土体自重来确定,这种假定与物理模型试验分析得到的土压力强度分布规律不一致^[1],从严格意义上说,规范中

关于板桩墙的墙后土压力的假定以及对板桩码头的计算有待进一步研究与完善。近年来,随着岩土本构模型的逐渐完善,有限单元法和有限差分法在岩土工程中得到了广泛应用,这为进一步研究板桩的受力特性提供了有力工具。此外,利用数值模拟软件对板桩码头进行模型分析,可以更好的对板桩码头进行整体把握,更准确的掌握各构件的位移、应力、剪力等情况,为板桩码头设计或施工提供了很好的校核参考数据。

本文所采用的数值分析方法拉格朗日有限差分

法,其有着很强的解决复杂力学问题的能力,并提供了多种内嵌的本构模型来模拟地质材料和类似材料的高度非线性和不可逆性力学响应等问题。

目前,在岩土工程界,拉格朗日显示有限差分得到了非常广泛的应用,其可行性得到了许多有效验证^[2]。因此,本文采用有限差分分析软件作为板桩码头的数值模拟分析工具,通过建立不同参数时的板桩码头模型,分析板桩码头中土体参数以及遮帘桩对板桩码头板桩墙的影响情况。

1 基本板桩码头模型数值模拟

1.1 模拟过程

安哥拉某板桩码头采用单锚板桩结构,板桩前墙、锚定桩墙均采用钢筋混凝土板桩,混凝土强度等级为C40,前墙厚1 m,高11 m;锚定墙厚1.2 m,高4 m。拉杆为直径Φ90的Q235钢拉杆,间距2.6

m。为方便比较,计算中忽略剩余水压力、船舶荷载和码头面荷载。码头断面如图1所示。各层土壤参数如表1所示。

为便于与设计对比,计算共分3个子步进行模拟:第一步为自重情况下坡体的变形及受力;第二步为加入前墙、锚碇墙和遮帘桩等构件后坡体的变形及受力;第三步为码头前部土体开挖后坡体的变形及受力。

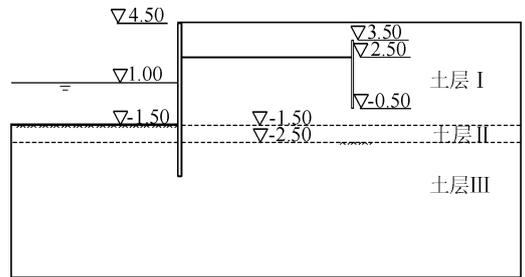


图1 码头断面图(单位:m)

表1 各土层性质参数

土层	土体种类	天然密度/ (g · cm ⁻³)	湿密度/ (g · cm ⁻³)	体积模 量/10 ⁶ Pa	剪切模 量/10 ⁶ Pa	弹性模 量/10 ⁶ Pa	泊松比	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/(°)	剪胀 角/(°)
土层 I	回填开山石	1.70	1.10	6667	4000.0	10000	0.25	0	38	0
土层 II	淤泥质粉质粘土	1.90	1.00	2	1.2	3	0.25	7.0	11	0
土层 III	硬黏土	1.80	0.90	2	1.2	3	0.25	11.5	16	0

1.2 模拟结果及分析

目前,用于板桩结构计算的理论有多种,其中使用较多的有m法、NL法、p-y曲线法。3种计算方法本质上都是对作用于板桩墙上的土压力强度分布进行不同的假设,以得到最适合某种特定板桩墙的计算方式和结果。因此,作用在板桩墙上的土压力强度如何,对板桩墙的工作机制至关重要。

为了比较数值方法和理论方法的计算结果,采用弹性地基梁法(m法)计算前墙的土压力强度分布^[3-4]。根据《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292-98),主动土压力系数计算公式为:

$$K_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos \delta}} \right]^2} \quad (1)$$

式中: φ 为计算土层土的内摩擦角, (°); δ 为计算土层土与墙面间的摩擦角, (°), 这里取 $\delta = \frac{5}{12} \varphi$ 。

土体本身产生的主动土压力水平强度标准值为:

$$e_{ax} = \left(\sum \gamma_i h_i \right) K_a \cos \delta - 2c \frac{\cos \varphi \cos \delta}{1 + \sin(\varphi + \delta)} \quad (2)$$

式中: γ_i 为计算面以上各层土的重度, kN/m³; h_i 为

计算面以上各层土的厚度, m; c 为计算土层的粘聚力, kN/m²。

将弹性地基梁法和有限差分分析软件模拟计算得到的板桩墙墙后土压力强度分布绘于图2中。

图2中,两种方法得到的土压力强度分布曲线接近。因此,两种方法计算的土压力强度分布近似,模拟结果能够反映板桩码头的工作机制。

2 土体参数敏感性分析

板桩码头中土体参数对板桩墙的影响情况不尽相同,利用有限差分分析软件模拟不同参数下板桩墙的弯矩分布,求得各参数对板桩码头的影响程度。本文参考 Xuke 等、Guijinsong 等、汤子杨等^[5-8]所做的板桩码头数值模拟分析,讨论在有限差分分析软件条件下,土壤参数对板桩墙弯矩的影响情况。

摩尔库伦模型中土体的参数主要有内摩擦角 φ , 黏聚力 c , 以及压缩模量 E 。为了分析这些参数对板桩墙弯矩的影响,将土体的上述参数增加一定的百分比以进行模拟,得到不同参数下板桩墙弯矩的分布图,将各参数变化时板桩墙最大正、负弯矩的变

化情况绘于图 3、4 中。

图 3 中,当内摩擦角分别增加 30%、50% 时最大负弯矩有较大幅度的减小;当弹性模量分别增加 30%、50% 时最大负弯矩也有一定的减小但减小程

度不如内摩擦角;粘聚力增大时前墙最大负弯矩的减小程度最小。

由图 3 可知,土体内摩擦角对板桩墙最大负弯矩的影响最大,弹性模量次之,粘聚力最小。

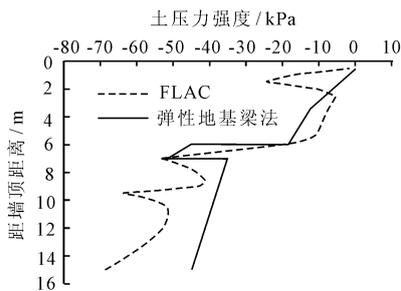


图 2 板桩墙上土压力强度分布图

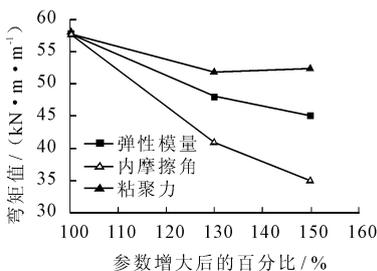


图 3 3 种土体参数变化时的板桩墙最大负弯矩值(绝对值)

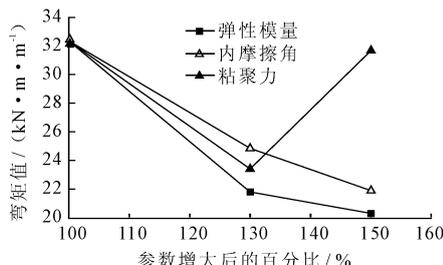


图 4 3 种土体参数变化时的板桩墙最大正弯矩值

图 4 中,当内摩擦角、弹性模量分别增加 30%、50% 时,最大正弯矩都有一定程度的减小,其中弹性模量的影响程度更大;粘聚力在增加 30% 时弯矩值也有相近的减小,但当增加 50% 时,弯矩值却不降反增了。由图 4 可知,弹性模量对最大正弯矩的影响程度最大,内摩擦角次之;粘聚力对最大正弯矩的影响呈现起伏不定的状态。

压力强度分布绘于图 7 中,并与弹性地基梁法的计算结果相比较。

图 6 中,在板桩泥面以上,遮帘式码头前墙的土压力强度小于单锚板桩码头;而在泥面以下,两者的土压力强度近似。由图 6 可知,模拟出的遮帘桩与现实情况一样可以减小板桩前墙受到的土压力强度,因此模拟的遮帘式板桩码头能够反映现实情况。

将模拟得到的遮帘式板桩码头板桩墙弯矩绘于图 7 中,并与单锚板桩码头进行对比。图 7 中,遮帘式码头板桩墙上的正弯矩和负弯矩都小于同一位置处的单锚板桩墙弯矩。由图 7 可知,遮帘桩的加入减小了板桩墙的弯矩。

为了量化遮帘桩对增加板桩码头承载力的影响程度,计算结果以及其变化的百分比列见表 2 所示。

3 遮帘式板桩码头与单锚板桩码头的比较分析

3.1 遮帘式板桩码头模拟

本文所模拟的遮帘式板桩码头为在单锚板桩的基础上在板桩墙和锚定结构之间加入遮帘桩而成,因此码头结构和土体的模拟模型仍采用前面单锚板桩模型中的相关参数进行模拟。参考刘文平等^[9-10]对遮帘式板桩码头的有限元模拟,遮帘桩采用钢筋混凝土结构,长度为 10m,间距为 2.6m,横截面为 1.0m × 2.0m 矩形截面,位于板桩墙后 3m 处,采用拉杆铰接方式。遮帘桩码头示意图如下。

表 2 单锚板桩码头和遮帘式码头的计算结果及其变化百分比

码头形式	板桩墙最大水平位移/mm	最大正弯矩/(kN·m·m ⁻¹)	最大负弯矩/(kN·m·m ⁻¹)
单锚板桩码头	-40.33	32.36	57.73
遮帘式码头	-38.55	23.42	52.54
减小百分比/%	4.41	27.63	8.99

表 2 中,板桩墙最大正弯矩减小的程度较大,达到 27.63%;而板桩墙水平位移和最大负弯矩的减小程度相对较小。

3.3 遮帘桩放置位置

模拟中发现遮帘桩的放置位置对板桩墙的受力有一定的影响,因此通过模拟得到当遮帘桩放置在距板桩前墙不同位置时板桩墙的最大正、负弯矩值,将变化绘于图 8、9 中。

图 8 中,当遮帘桩距离板桩墙 2 ~ 5 m 时板桩墙

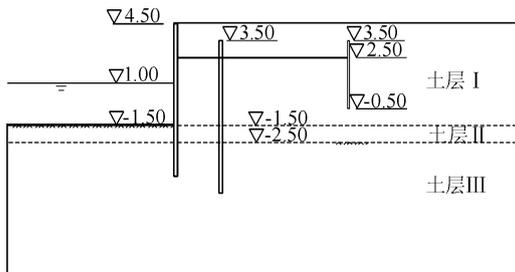


图 5 遮帘桩码头示意图(单位:m)

3.2 模拟结果及比较

将有限差分分析软件模拟得到的板桩墙墙后土

的最大负弯矩值较小,而5~10 m处的板桩墙弯矩呈现起伏不定。图9中,当遮帘桩距板桩墙2~5 m时板桩墙的最大正弯矩值较小,而之后的板桩墙弯矩呈现起伏不定。由图8、9可知,当遮帘桩距离前墙2~5 m处时,板桩墙受到的最大正、负弯矩值处

在一个较小的范围;而5~10 m处的板桩墙弯矩呈现起伏不定,分析可能是因为此时遮帘桩已经不是减小前墙土压力的主要因素,随着遮帘桩位置的变化,拉杆拉力、前墙土压力分布等因素的不同影响下前墙弯矩值出现波动的现象。

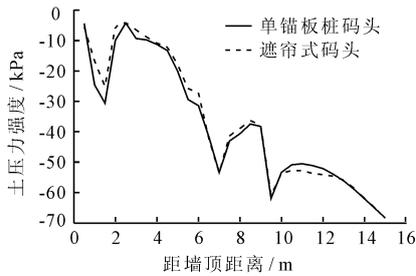


图6 两种板桩码头的板桩墙后土压力分布

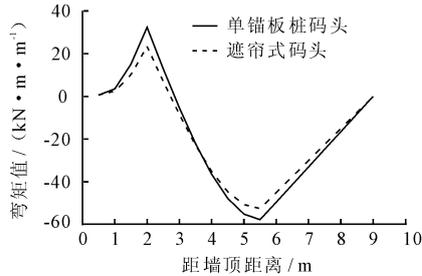


图7 两种板桩码头的板桩墙弯矩分布图

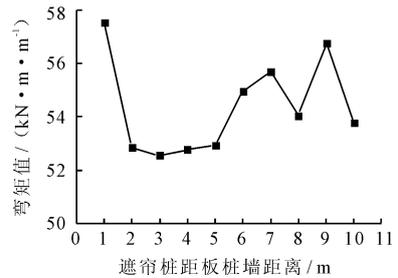


图8 遮帘桩不同位置时的板桩墙最大负弯矩(绝对值)

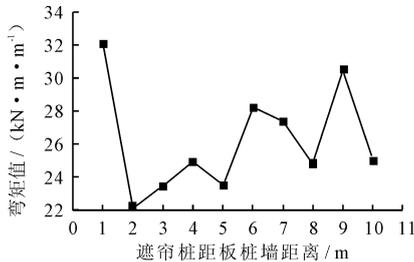


图9 遮帘桩不同位置时的板桩墙最大正弯矩

4 结语

本文利用有限差分分析软件对单锚板桩码头和遮帘式板桩码头进行数值模拟,得到板桩码头的模拟结果。对模拟结果进行总结和分析,主要结论如下:

(1) 土体参数的影响情况为:土体内摩擦角对板桩墙最大负弯矩的影响最大,弹性模量次之,粘聚力最小;内摩擦角、弹性模量对最大正弯矩的影响程度近似,而粘聚力对最大正弯矩的影响呈现起伏不定的状态。

(2) 当单锚板桩码头加入遮帘桩后,板桩墙最大正弯矩减小的程度较大,在27.63%;而板桩墙水平位移和最大负弯矩的减小程度相对较小。

(3) 遮帘桩的放置位置对板桩墙的受力有影响,模拟发现,当遮帘桩距离前墙2~5 m处时,板桩墙受到的最大正、负弯矩值处在一个较小的范围。

参考文献:

- [1] 李士林,徐光明. 单锚板桩结构码头离心模型试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2008(1): 67-72.
- [2] 陈育民,徐鼎平. FLAC/FLAC3D 基础与工程实例[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
- [3] 韩理安. 港口水工建筑物[M]. 北京:人民交通出版社, 2010.
- [4] 裴张兵,王云球. 板桩码头计算方法的分析比较[J]. 水运工程, 1998(11): 6-10.
- [5] Xuke, Zhang Shen. Applications of PLAXIS 2D in the Calculation of Sheet Pile Wharf Structure[J]. Advanced Materials Research, 2014, 838/841: 2223-2226.
- [6] Guijinsong, Fu Yu, Bienkai. The numerical calculation based on ABAQUS of lattice type steel sheet pile wharf structure[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 501/504: 2107-2111.
- [7] Guijinsong, Fu Yu, Bi Enkai. Numerical calculation of soil pressure inside the lattice type steel sheet pile wharf structure[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 405/408: 1427-1430.
- [8] 汤子扬,牛志国,陈春燕. Plaxis 在板桩码头分析中的应用[J]. 水利水运工程学报, 2013(1): 81-85.
- [9] 刘文平,郑颖人,蔡正银,等. 遮帘式板桩码头结构有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(4): 573-577.
- [10] 李景林,蔡正银,徐光明,等. 遮帘式板桩码头结构离心模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(6): 1182-1187.