



卸荷式板桩码头的数值模拟分析

江 杰

(中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200063)

摘要: 为了得到卸荷式板桩码头真实的受力特性, 使用PLAXIS 2D软件对其进行数值模拟分析, 得出了码头从建造到使用过程中各个工况下的位移、前板桩弯矩、桩基轴力以及整体的安全系数。该计算方法考虑了土体的非线性特性和前板桩与土体共同作用, 比较符合工程实际情况。计算结果与常规弹性地基梁法的计算结果进行了对比, 表明该方法的可行性和适用性, 可为相似工程设计提供了有益的参考。

关键词: 板桩码头; 卸荷; 数值模拟; PLAXIS 2D

中图分类号: U 656.1⁺12

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)11-0031-05

Numerical simulation for sheet-pile wharf with relieving platform

JIANG Jie

(China Shipbuilding NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: In order to interpret the real stress characteristics of sheet-pile wharf with relieving platform, we carried out a numerical simulation on it by software PLAXIS 2D, and obtained the displacement of wharf, the moment of front wall, the axial force of piles and the overall factor of safety during the construction state and the service state. Considering the nonlinear characteristics of soil and interaction between front sheet-pile and soil, this method agrees well with the practical engineering. The comparison between results of the conventional elastic foundation beam method and the calculated results proves its feasibility for the analysis of sheet-pile wharf with relieving platform, thus may serve as reference for similar projects.

Key words: sheet-pile wharf; relief; numerical simulation; PLAXIS 2D

卸荷式板桩码头结合了斜拉板桩和桩基承台的结构特点, 斜拉板桩用于挡土, 承受土体自重产生的土压力、波浪力、系缆力等, 以承受水平力为主; 桩基承台用于承受码头面装卸机械荷载及承台以上的土重, 以承受竖向力为主。由于后方承台高程适当降低, 分担了部分作用于前墙的土压力, 起到了卸荷作用。这种码头结构形式较为新颖, 在国内缺乏相关的工程应用经验^[1-2]。卸荷式板桩码头常规采用弹性地基梁法进行计算, 该方法虽然计算简便, 但不能从建造到使用全过程分析多工况码头受力变形机理, 更不能计算码头整体的安全系数。为此规范^[3]规定: “卸荷式板

桩码头结构计算宜考虑土体的非线性特性和桩土共同作用, 采用三维有限元进行计算。”三维有限元法可以很好地模拟卸荷式板桩码头真实的受力特性, 但建模比较复杂、运算规模过大、不易被一般工程设计人员所接受。把卸荷式板桩码头作适当简化和假设, 采用二维有限元对其进行模拟分析, 是一种行之有效的方法。

本文采用PLAXIS 2D软件对卸荷式板桩码头进行数值模拟, 考虑土体的非线性特性和前板桩与土体共同作用, 分析了码头从建造到使用过程中各个工况下的位移、前板桩弯矩、桩基轴力以及整体的安全系数, 并将计算结果

收稿日期: 2012-04-13

作者简介: 江杰(1979—), 男, 博士, 高级工程师, 从事船厂水工构筑物的设计及科研工作。

与常规弹性地基梁法的计算结果进行了对比。

1 工程概况

某工程驳岸采用卸荷式板桩码头，码头面高程为5.741 m，竣工后码头泥面高程为-12.00 m，卸荷承台宽18 m，厚0.8 m，底高程为0.50 m，支撑两组吊车道，吊车道轮压为360 kN/m。前墙采用钢板桩挡土，型号为AZ40-700，桩基采用φ 800 PHC桩，间距4 m，钢板桩和PHC桩的桩底高程都为-21.50 m，卸荷式板桩码头剖面见图1。

2 计算方法

计算采用PLAXIS 2D (2010)软件，该软件是一个专业的岩土通用有限元软件。它计算功

能强大、运算稳定、界面友好。土体采用Mohr-Coulomb模型，该模型广泛应用于岩土工程中。计算所需的土体参数，都可以根据岩土勘查报告提供的数据分析得到。前墙、胸墙、吊车道和承台都采用板单元模拟。斜桩间距较大，类似于锚碇叉桩。规范^[3]规定在计算其内力时不考虑桩周围土体对桩的作用，可认为只承受轴向力作用，故斜桩采用锚杆单元模拟，计算所需参数（折算成每延米）如表1~3所示。考虑边界效应，模型在水平向和竖向的尺寸分别为108 m和45.7 m，底面边界条件设置支座固定竖向和水平向位移，两个侧面采用水平连杆支座固定侧向位移，顶面为自由面，钢板桩和斜桩与承台采用固结方式连接。

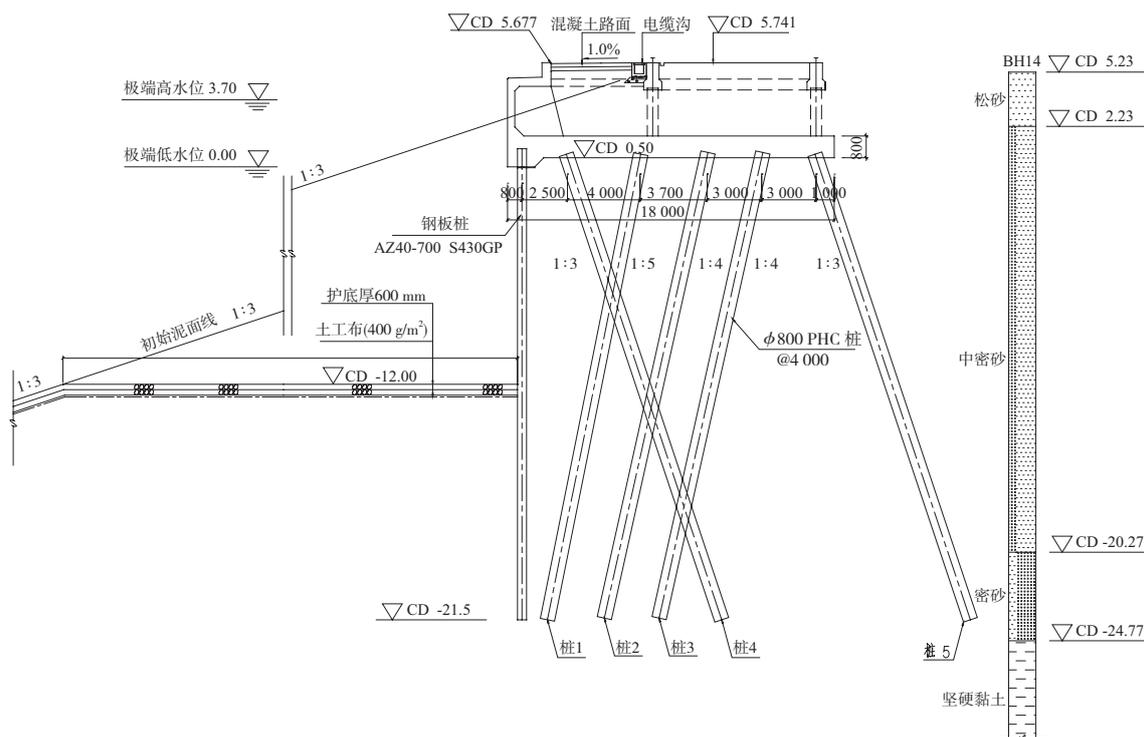


图1 卸荷式板桩码头剖面

表1 土体的计算参数

土层	排水情况	天然密度 $\rho_{unsat}/(t \cdot m^{-3})$	饱和密度 $\rho_{sat}/(t \cdot m^{-3})$	泊松比 ν	弹性模量 E_{ref}/MPa	粘聚力 C_{ref}/kPa	内摩擦角 $\phi/(^\circ)$	剪胀角 $\psi/(^\circ)$	强度折减因子 R_{inter}
回填砂	排水	1.80	1.9	0.30	9.0	0	32	2	0.60
松砂	排水	1.85	2.0	0.30	15.3	0	32	2	0.67
中密砂	排水	1.90	2.0	0.25	25.5	0	33	3	0.67
密砂	排水	1.90	2.0	0.28	71.4	0	34	4	0.70
坚硬黏土	排水	1.90	2.0	0.30	17.0	5	35	5	0.75

表2 前墙、胸墙、承台及吊车道的计算参数

名称	轴向刚度 $EA/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	抗弯刚度 $EI/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{m}^{-1}$)	重力分布 $w/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$)	泊松比 ν
前墙 (AZ40-700)	4.151×10^6	1.701×10^5	1.917	0
承台	2.4×10^7	1.28×10^6	8	0.167
胸墙	1.2×10^7	1.6×10^5	8	0.167
吊车道	1.2×10^7	1.6×10^5	8	0.167

表3 桩基的计算参数

名称	轴向刚度 EA/kN	间距 L/m
桩基 ($\phi 800$ PHC)	1.507×10^7	4.0

计算工况如下：工况1，开挖至0.50 m高程；工况2，施打钢板桩和PHC桩；工况3，施工承台、胸墙和吊车道；工况4，墙前开挖至-13.00 m高程（考虑超挖1 m）；工况5，承台上土回填至5.741 m高程（考虑剩余水头1.5 m）；工况6，后方超载（20 kPa），波吸力；工况7，吊车荷载，波吸力。

模型采用自动划分单元，在前板桩接触面处网格加密，单元网格见图2。

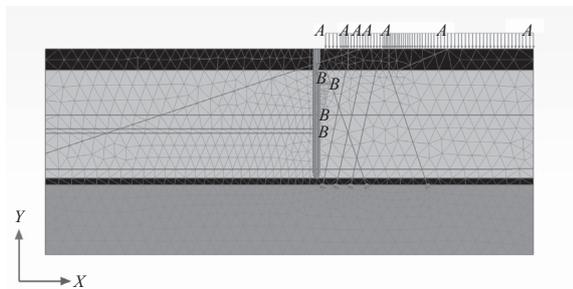


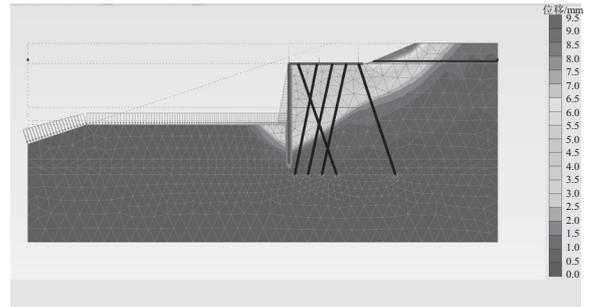
图2 单元网格

3 计算结果

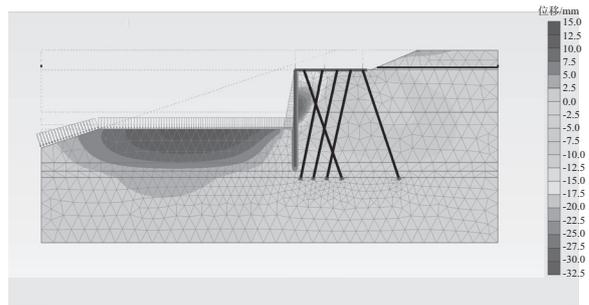
由于篇幅限制，本文只列出开挖（工况4）和使用（工况6和工况7）过程中比较不利工况的计算结果(折算成每延米)，工况4的结果见图3，工况6的结果见图4，工况7的结果见图5，结果汇总见表4和表5。

工况4、工况6和工况7的计算结果汇总见表4~5。

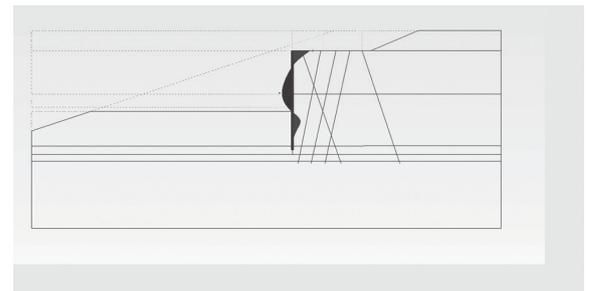
从图3~5和表4可以看出，码头的水平位移主要发生在使用阶段，其中作用吊车荷载的工况7产生的水平位移最大。弹性地基梁法计算的码头前板桩位移比有限元计算的结果要小得多，这



a) 位移增量 (安全系数1.803 4)

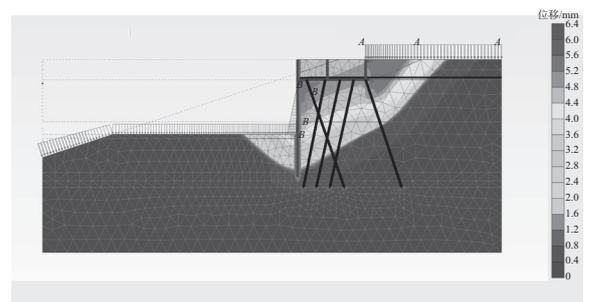


b) 水平最大位移32.41 mm

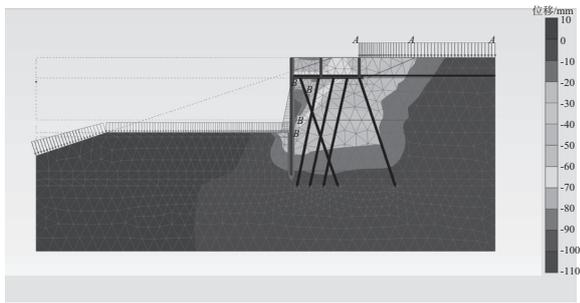


c) 前墙最大弯矩401.1 $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$

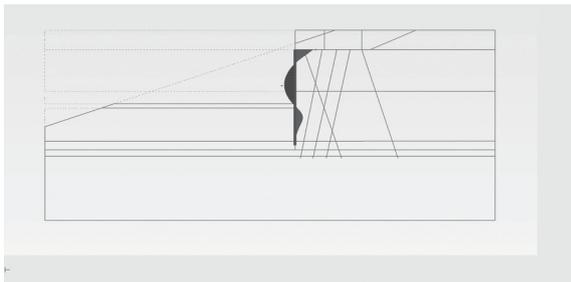
图3 工况4



a) 位移增量 (安全系数1.653 7)

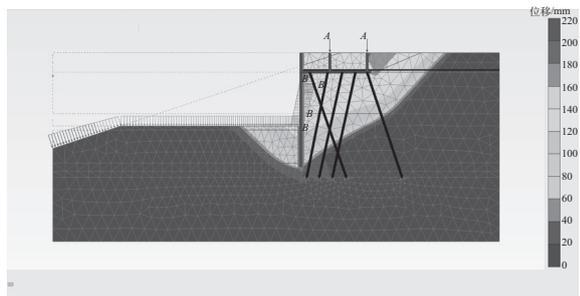


b) 水平最大位移103.0mm

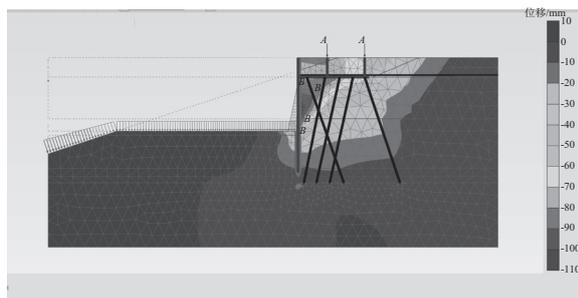


c) 前墙最大弯矩868.5 kN·m/m

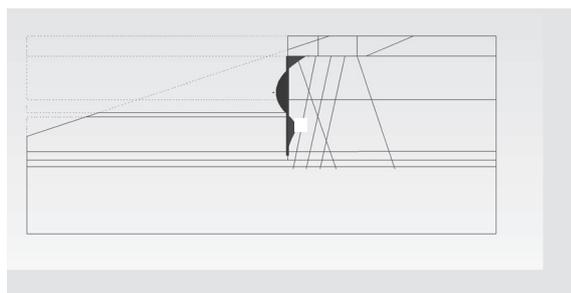
图4 工况6



a) 位移增量 (安全系数1.7055)



b) 水平最大位移109.9 mm



c) 前墙最大弯矩830.6 kN·m/m

图5 工况7

是由于该方法没有考虑土体的非线性和前板桩与土体共同作用，计算结果与实际情况差距较大，因此不能作为位移控制的依据。PLAXIS 2D计算的前板桩弯矩比弹性地基梁法计算的结果略大，这是因为弹性地基梁法中假设前板桩承受的是主动土压力，是一种极限状态条件下的土压力，而实际码头使用过程中土压力随着土体的变形不断调整，连续介质有限元可以很好地模拟这一特性。PLAXIS 2D 在计算码头位移的同时，还得到了从建造到使用各个工况的整体安全系数，可以看出工况6（使用期承台后方作用超载）的情况安全系数最小，为码头的控制工况，故在使用过程中需严格控制后方超载，使之不超过其设计值。

从表5可以看出，斜桩1, 2, 3主要承受压力，支撑承台和上方土体重力及超载。斜桩4和5主要承受拉力，用以抵抗码头的水平荷载。码头从建造到使用过程压桩1, 2, 3的轴力比较均匀，但拉桩4的拉力始终比拉桩5的要大很多，甚至在工况7中由于吊车荷载较大，桩5还承受了部分压力，因此可以对拉桩作进一步的优化设计。弹性地基梁法计算的码头桩基轴力比有限元计算的结果要略大，这是由弹性地基梁法计算模型中桩底施加了固定的边界条件造成的，可以看出PLAXIS 2D的计算结果更符合实际情况。

4 结论

使用PLAXIS 2D软件对卸荷式板桩码头进行数值模拟分析，得到了码头从建造到使用过程中各个工况下的位移、前板桩弯矩、桩基轴力以及整体的安全系数，计算结果与常规弹性地基梁法的计算结果进行了对比，得到如下结论：

1) 把卸荷式板桩码头作适当的简化和假设，使用PLAXIS 2D软件对其进行数值模拟，既能避免复杂的三维有限元计算，又比常规的弹性地基梁法计算更准确更全面，是一种行之有效的分析方法；

2) 弹性地基梁法没有考虑土体的非线性和桩土共同作用，其计算结果与PLAXIS 2D的计算结果

表4 水平位移、前墙弯矩和安全系数

工况	前墙最大弯矩/(kN·m·m ⁻¹)		最大水平位移/mm		安全系数
	PLAXIS 计算结果	弹性地基梁法计算结果	PLAXIS 计算结果	弹性地基梁法计算结果	
4	401.1		32.41		1.803 4
6	868.5	837.4	103.0	18.5	1.653 7
7	830.6	794.2	109.9	24.3	1.705 5

表5 桩基轴力

桩号	工况4	工况6		工况7	
	PLAXIS计算结果/kN	PLAXIS计算结果/kN	弹性地基梁法计算结果/kN	PLAXIS计算结果/kN	弹性地基梁法计算结果/kN
1	-568.8	-1 924.0	-2 248.3	-2 310.4	-2 621.0
2	-234.0	-2 343.6	-2 530.1	-2 852.8	-2 956.2
3	-481.6	-2 281.2	-2 409.5	-2 590.0	-2 873.7
4	511.6	486.0	544.2	147.2	250.4
5	282.4	247.2	253.1	-829.6	-740.1

注: 1) 轴力已换算成每根桩; 2) 轴力拉为正, 压为负; 3) 桩基位置见图1。

差距较大, 不能作为位移控制的依据;

3) 弹性地基梁法中需假设一种土压力模式, PLAXIS 2D软件是一种连续介质有限元, 土压力随着土体的变形不断调整, 比较符合实际情况;

4) 卸荷式板桩码头使用期承台后方作用超载的情况安全系数最小, 为码头的控制工况, 故需在使用过程中严格控制后方超载, 使之不超过其设计值;

5) PLAXIS 2D能计算码头从建造到使用各个工况下桩基轴力, 可以根据轴力变化对码头桩基

作进一步的优化设计。

参考文献:

- [1] 刘进生, 刘永绣. 卸荷式板桩码头结构在汉堡港的应用[J]. 港工技术, 2005 (4): 20-21,32.
- [2] 司玉军, 曾友金, 解占强, 等. 整体卸荷式板桩码头结构离心模型试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2009 (3): 86-92.
- [3] JTS 167-3—2009 板桩码头设计与施工规范 [S].

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

一航局、天航局中标黄骅港散货港区南侧围堰二期工程

日前, 一航局、天航局分别中标黄骅港散货港区航道南侧围堰二期工程施工B标段、C标段, 中标金额共计4.27亿元, 工期300 d。

该项目位于黄骅港散货港区以南、神华港外航道以北, 主要工程包括将现有南侧围堰一期工程沿航道平行向东延伸至-6.5 m, 与现有南防沙堤相交, 并将南防沙堤和神华集团黄骅港外航道整治工程的部分北防沙堤加高。共新建、加高围堰总长度16.53 km, 工程总投资25.6亿元。其中一航局中标的B标段, 施工内容为2.58 km的围堰建设, 中标金额2亿元; 天航局中标的C标段, 施工内容为2.3 km的围堰建设, 中标金额2.27亿元。

该工程的建设, 对确保黄骅港20万吨级航道工程的顺利实施, 推动河北省沿海地区经济社会发展具有重要意义。

摘自《中国交通建设网》