



墙前梯形截面有限土体的板桩码头结构设计

马志强, 邓守来

(中交天津港湾工程设计院有限公司大连分公司, 辽宁 大连 116011)

摘要: 墙前为梯形截面的有限土体的板桩码头受土坡的影响, 其土抗力会与墙前为半无限缓坡时存在一定差异。采用岩土有限元软件 PLAXIS 进行建模, 模拟其在陡坡上板桩码头的受力, 并对比其与墙前土体半无限水平时板桩结构内力的差异, 总结墙前梯形截面有限土体的板桩码头内力计算与结构稳定的设计规律。

关键词: 板桩码头; 梯形截面; 有限土体; PLAXIS

中图分类号: U 656.1⁺12

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)06-0072-04

Structural design of sheet pile quay wall affected by trapezoidal-cross-section finite soil body

MA Zhi-qiang, DENG Shou-lai

(Tianjin Port Engineering Design & Consulting Co., Ltd., Dalian Branch, Dalian 116011, China)

Abstract: Under the influence of the slope, the earth resistance in front of the sheet pile quay wall caused by the trapezoidal-cross-section finite soil body is different from that in the half-space situation. Adopting the finite element software PLAXIS, we establish the model to simulate the stress on the sheet pile wharf which is on the steep slope, analyze the difference of internal forces, and summarize the calculation method of the internal force and the structural stability.

Keywords: sheet pile quay wall; trapezoidal cross-section; finite soil body; PLAXIS

1 问题的提出

板桩码头的受力特点决定其结构受水平力控制, 墙前土抗力的变化对板桩码头结构可起到决定性作用。国内板桩码头的设计推荐采用弹性地基梁法, 土抗力的影响通过水平地基反力系数来反映, 在通常墙前半无限缓坡的情况下, 计算可参照 JTS 167-3—2009 《板桩码头设计规范》^[1]附录取值, 但在墙前为梯形土体时, 土坡会对土抗力产生一定的削减效应, 其结构受力与墙前缓坡结构受力会存在一定的差异。图 1 为位于巴布亚新几内亚某 4 万 t 集装箱码头, 顶高程 4.0 m, 港池底高程 -13.0 m。码头采用单锚板桩结构, 前墙结构形式选用 $\phi 1.6$ m 钢管桩与 AZ26-700 热轧 Z 型钢板桩组合的结构形式。码头所在位置地形变化很快, 天然岸坡与水平面夹角在 $20^\circ \sim 40^\circ$ 之间,

板桩码头位于一个很大的斜坡面上, 在此情况下板桩码头前墙所受土抗力取值与天然缓坡存在很大差异。为解决陡坡上板桩的受力问题, 本文通过土力学有限元软件 PLAXIS 建模计算, 并对结果进行分析。

2 模型的建立

PLAXIS 是由荷兰 PLAXIS B. V. 公司推出的一款通用岩土有限元计算软件, 功能强大, 用户界面友好, 为解决岩土工程问题提供了一套强有力的专业分析工具。软件提供了线弹性、摩尔-库伦、软化和硬化及软土流变等丰富的本构模型, 能够模拟土体、墙、板、梁结构以及结构和土体的接触面、锚杆、土工织物、隧道、桩基础等, 并可对施工步骤进行模拟。

收稿日期: 2015-12-26

作者简介: 马志强 (1983—) 男, 硕士, 工程师, 从事港口与航道工程水工结构设计工作。

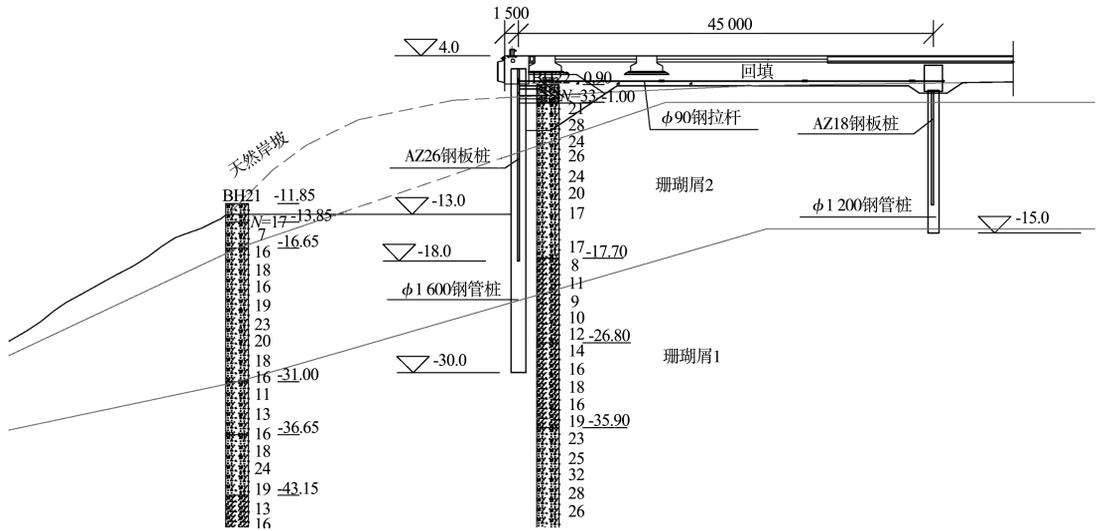


图 1 巴新某码头结构 (高程: m; 尺寸: mm)

本文计算土体有限元模型选用摩尔-库伦 (Mohr-Coulomb) 本构模型, 摩尔-库伦模型是基于土体极限平衡理论的非线性模型, 因其只需工程常用的土体参数即可取得相对可靠的计算结果而在土力学有限元计算中广为应用。前墙、锚定墙以板单元模拟, 拉杆以锚杆单元模拟。本计算土体及板桩材料参数见表 1 及表 2。

表 1 土体物理力学参数

土体	弹性模量 $E/(10^4 \text{ kN/m}^2)$	密度 $\rho_{\text{天然}}/(t/m^3)$	粘聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	泊松比 ν
回填料	5	1.85	20	6	0.2
珊瑚屑 1	4	1.82	20	5	0.3
珊瑚屑 2	3	1.78	20	3	0.3

表 2 材料参数

材料	$EA/(10^6 \text{ kN/m})$	$EI/(10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}^2/\text{m})$	质量 $m/(\text{kg/m})$	泊松比 ν
前墙组合板桩	6.020	1.880	229	0.3
锚定桩	4.100	0.606	157	0.3
拉杆	1.225			

为对比板桩码头墙前梯形有限土体对土抗力的影响, 建立 2 个基本模型: A 墙前土体为半无限水平面; B 墙前为梯形土体, 坡比 1:2。B 模型分别计算了前墙距离陡坡 40、30、20、15、10、5、0 m 共 7 种工况 (图 2)。通过这 2 个模型不同计算结果的对比来反映墙前有限梯形土体对土抗力的影响。

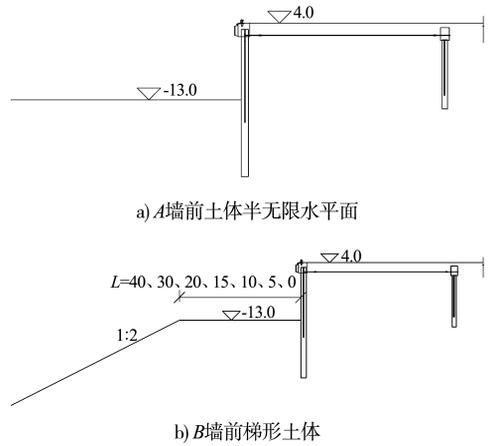


图 2 板桩码头墙前梯形有限土体对土抗力的影响 (单位: m)

板桩前墙内力计算结果见表 3, 弯矩分布见图 3。

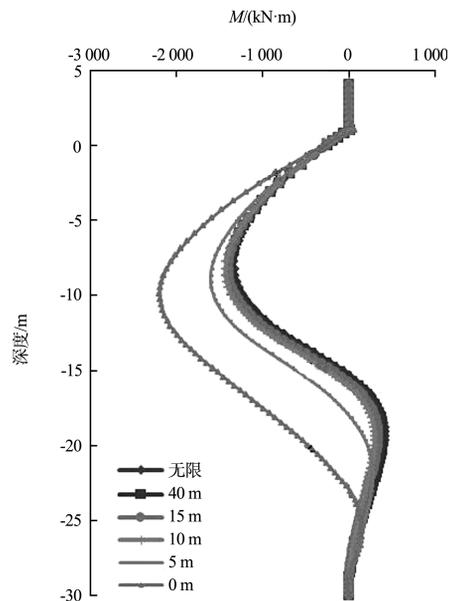


图 3 板桩墙弯矩

表3 板桩前墙弯矩

前墙与陡坡 距离/m	正弯矩		负弯矩	
	最大值/ (kN·m)	对应 高程/m	最小值/ (kN·m)	对应 高程/m
半无限水平	1 334	-7.8	-414	-19.1
40	1 363	-8.2	-400	-19.4
30	1 364	-8.2	-390	-19.4
20	1 379	-8.2	-367	-19.4
15	1 395	-8.2	-342	-19.4
10	1 430	-8.2	-300	-19.4
5	1 605	-8.7	-274	-22.1
0	2 194	-9.9	-155	-25.8

2.1 板桩墙前土抗力计算结果

板桩墙前土抗力计算结果见表4，土体有效正应力随深度分布见图4。

表4 板桩墙前土抗力

前墙与陡坡 距离/m	最大有效正 应力/kPa	最大正应力 高程/m	土抗力 合力/kN	合力作用 点/m
半无限水平	149	-16.6	-1 997	-22.0
40	149	-16.6	-1 950	-22.0
30	149	-16.6	-1 924	-22.0
20	149	-16.6	-1 880	-22.0
15	148	-16.6	-1 843	-22.0
10	146	-16.9	-1 801	-22.2
5	121	-19.7	-1 742	-22.5
0	176	-26.7	-1 689	-24.0

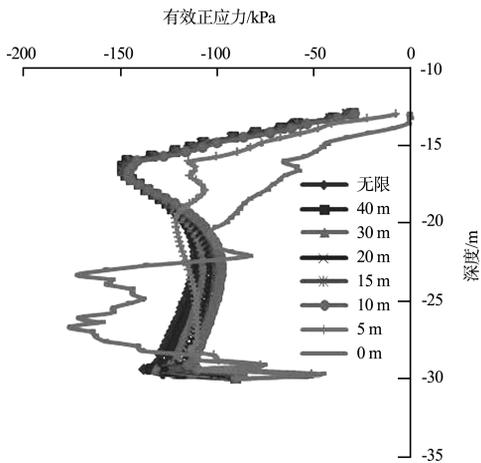
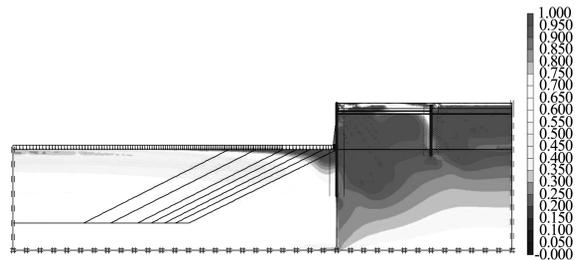


图4 墙前土抗力分布

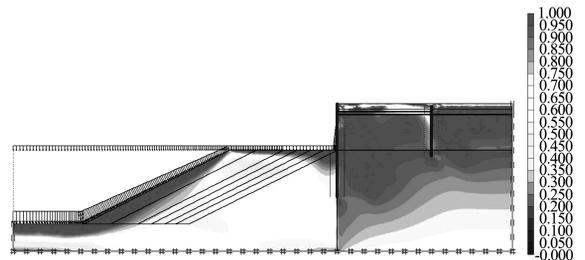
2.2 土体剪力计算结果

图5为墙前土体半无限水平及板桩墙距陡坡40、15、10、5、0 m 6种工况下土体相对剪切应力

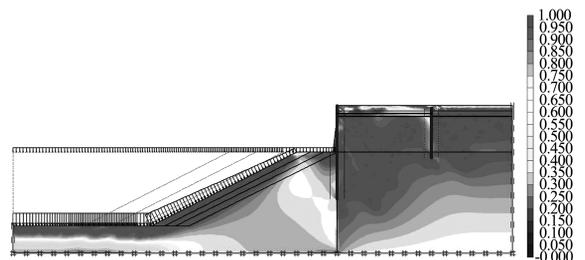
分布云图。其中相对剪切应力定义为剪应力的最大值与保持平均应力为定值时增大 Mohr 应力圆使其与 Coulomb 破坏包线相切时的最大剪应力值的比值。因此云图中颜色越深表示土体越接近抗剪强度。



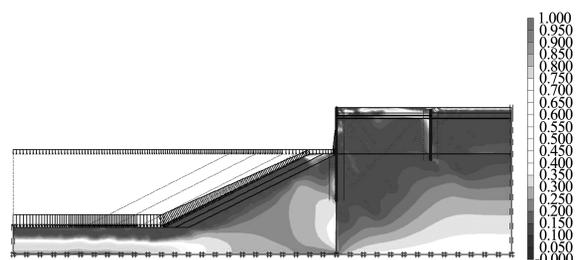
a) 半无限水平



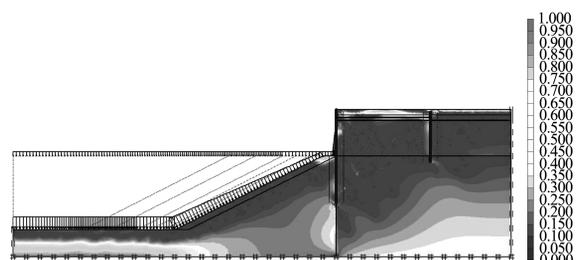
b) 40 m



c) 15 m



d) 10 m



e) 5 m

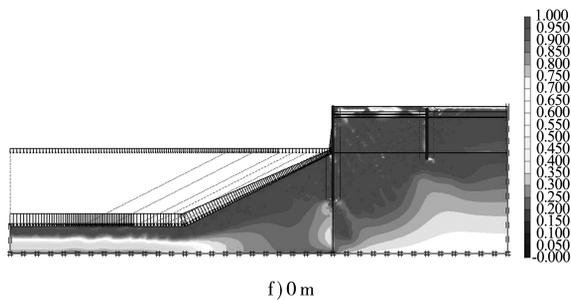


图5 相对剪应力分布

3 结果分析

3.1 结构受力

分析板桩内力、墙前土反力结果得知, 当板桩与陡坡保持一定距离(大于 10 m)时, 板桩墙的弯矩、土反力与墙前土水平泥面的分布规律基本相同, 计算结果相似(最大弯矩仅增加 7%)。但当与斜坡距离过小(小于等于 10 m)时, 由于斜坡土体在自身重力作用的下滑力的影响, 墙前表层土体所能提供的土抗力大幅降低。从图 4 可以看出, 土体有效正应力的分布已经明显偏离了半无限水平工况下的分布规律, 因此板桩泥面以下所受约束减小, 桩底越来越接近自由支撑状态, 板桩泥面以上弯矩远大于水平泥面状况(当与陡坡距离为 5 m 时, 最大弯矩增大 20%, 与陡坡间距为 0 m 时, 最大弯矩增大越 64%)。

从相对剪应力分布图能发现, 墙前土体受压区上层受剪相对集中, 其分布规律与被动土压力破裂面分布基本相同, 破裂面起始点约位于在墙前泥面以下剪力零点处。因此基本可按墙前土体水平计算结构泥面下剪力零点处绘制破裂面, 当破裂面与泥面交线位于码头前平坡时, 可认为受陡坡影响较小, 反之影响较大。

采用弹性地基梁法计算结构内力时, 若陡坡影响较小可通过适当降低水平地基反力系数即 m 值的方法来进行模拟, 当影响较大时建议采用不考虑破裂面与陡坡交线以上土体的土抗力, 以下土体采取适当降低 m 值的方法来进行计算。

3.2 结构稳定

由于墙前有限梯形土体的板桩码头其踢脚稳定会受岸坡稳定的影响, 当岸坡稳定的安全系数较小时, 按半无限方法计算被动土压力的踢脚稳定也必然存在安全隐患。按国内规范, 虽岸坡稳定与踢脚稳定均按极限平衡法计算, 但由于分别

采用安全系数法与可靠度法, 其安全度不适合做统一的比较。因此可参照美标^[2]的计算方法。美标中板桩码头采用强度折减法, 通过降低墙前被动土压力的内摩擦角 φ 与粘聚力 C 值, 实现折减后的 φ_{eff} 、 C_{eff} 达到恰好能维持结构稳定的极限平衡状态, 此时 $\tan(\varphi_{eff}) = \tan\varphi/FSP$, $C_{eff} = C/FSP$, FSP 即为安全系数。而若岸坡稳定采用强度折减法所得安全系数根据论证与简化毕肖普法所得的安全系数基本相近^[3]。根据美标中对板桩码头的安全系数要求, 持久组合非黏性土 FSP 不低于 1.5, 短暂组合不低于 1.25, 地震组合不低于 1.10。因此, 为保证结构的整体稳定要求, 至少要满足:

1) 板桩码头与陡坡间要至少满足以泥面下剪力零点为起点的被动破裂面至墙前平坡交线的最小影响距离要求;

2) 岸坡稳定按简化毕肖普法与采用强度折减法的板桩码头均达到美标中关于板桩码头最小安全系数的要求;

3) 由于陡坡仍对墙前被动土压力有一定削减效应, 板桩码头在满足最小安全系数的基础上仍要留有一定富裕。

4 结论

1) 墙前有限梯形土体的板桩码头设计中需注意有限土体对板桩受力的影响, 板桩与陡坡间需留有足够的安全距离以降低其对土抗力的削减效应, 同时若按弹性地基梁法进行设计时需适当降低水平地基反力系数以获得相对安全的设计结果。

2) 结构稳定也需注意有限土体的影响, 板桩与陡坡均需同时满足最小安全系数, 同时应保证足够的安全距离, 且板桩结构稳定还应留有一定的安全富裕。

3) 本文仅针对特定工程进行研究, 未进行坡比、土的力学性质等参数敏感性分析, 未来可进一步深化研究。

参考文献:

- [1] JTS 167-3—2009 板桩码头设计与施工规范[S].
- [2] EM 1110-2—2504 Design of Sheet Pile Walls[S].
- [3] 彭燃, 高玮, 田伟平. 边坡稳定分析中极限平衡法与强度折减法比较研究[J]. 华东公路, 2010 (6): 73-75.