



遮帘板桩式接岸结构桩土相互作用分析*

周世良, 程烈, 沈灵, 凌霄

(重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

摘要: 结合某工程, 对遮帘板桩式接岸结构桩土相互作用进行数值分析, 研究了桩土相关计算参数对桩土作用的影响。由于遮帘桩的存在, 在受到后方土压力时, 遮帘桩桩间土压力向两侧遮帘桩传递, 这样减小了前排桩承受的土压力, 产生土拱效应, 提高了接岸结构的承载力。土的粘聚力与内摩擦角对桩土相互作用影响较大, 随着粘聚力与内摩擦角的增加, 遮帘桩荷载承担比均有所增加, 最后都趋于稳定值, 当粘聚力达到一定值时, 内摩擦角对桩土相互作用影响较小。遮帘桩间距及遮帘桩与前板桩间距对桩土作用影响较大, 只有综合考虑, 才能优化码头设计。土的弹性模量、泊松比、桩土摩擦系数对桩土相互作用影响较小, 在设计时可作次要因素考虑。

关键词: 遮帘板桩; 接岸结构; 桩土相互作用

中图分类号: U 656.112

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)06-0161-005

The Pile-soil interaction analysis about bank connecting structure of blind sheet-pile

ZHOU Shi-liang, CHENG Lie, SHEN Ling, LING Xiao

(College of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Based on a project, we carry out a numerical analysis for the pile-soil interaction of the blind sheet-pile bank connecting structure. We also study the effect of the calculation parameters on the pile-soil interaction. When the blind sheet-pile suffers the rear earth pressure, the earth pressure among the sheet-pile passes to both sides of the barrier piles, so that it reduces the earth pressure bore by the front piles which produces the soil arching effect, and improves the bearing capacity of the bank connecting structure. It is found that the soil cohesion and the internal friction angel have greater impacts on pile-soil interaction. With the cohesion and internal friction angel increase, the load-bearing of blind piles also increases, and finally tends to a stabilized value. When the cohesive reaches to a certain value, the internal friction angel has a less impact on the pile-soil interaction. In order to make an optimal design, we must make a comprehensive consideration about not only the span of the blind pile but also the span between the blind pile and the front row pile. It can be used as a secondary factor when designing the bank connecting structure of the blind sheet pile, because the soil elastic modulus, Poisson's ration and the coefficient of friction of the pile have small effects on the pile-soil interaction.

Key words: blind sheet pile; bank connecting structure; pile-soil interaction

板桩码头结构适用于厚层软土地基, 具有结构简单、用料省、工程造价低、施工方便等优点, 可以先打板桩后进行开挖墙前岸坡, 能大量减少挖填方量。板桩结构对复杂的软土地质条件适应性强, 但由于其耐久性差, 抗弯能力有限,

大多只用于中小型码头接岸结构。作为支挡结构, 经过多年的探索和研究, 中交第一航务工程勘察设计院提出了一种遮帘式板桩结构, 开发了全遮帘式半遮帘式地下连续墙结构, 可应用于大型深水泊位码头接岸结构。在前板桩和锚定

收稿日期: 2012-11-19

*基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(210176)

作者简介: 周世良(1972-), 男, 博士后, 教授, 从事水工结构、岩土工程方面的研究与教学工作。

墙之间，增设一排靠近前板桩，即遮帘桩，能较好地起到遮帘的作用。遮帘板桩式结构是一种新型的结构形式，该结构具有其他形式无法比拟的优点。遮帘桩的存在减小了作用于前板桩的土压力，创造了板桩结构得以加大水深的条件。

目前，遮帘板桩式结构广泛应用于软土地区大中型码头接岸结构中。李景林等^[1-4]探讨了遮帘式板桩的模型试验、方法研究以及数值分析。但是，对于遮帘板桩式接岸结构的计算仍然存在问题，没有系统完整的计算方法。遮帘板桩式接岸结构受力相当复杂，遮帘桩按一定距离布置，受到墙后土压力时桩间产生土拱。桩后土压力，一部分传至桩上，一部分通过桩间传至前墙，这样传至前墙的土压力减小，提高了接岸结构的承载力。遮帘桩减小土压力的作用主要是在桩间形成土拱效应。土拱效应在码头中的研究较少，而在抗滑桩中研究甚多。蒋良淮等^[5-7]在理论上对土拱理论进行了研究。张建勋等^[8-9]对抗滑桩作了数值分析研究。抗滑桩主要起到阻碍滑坡体滑动、使滑坡达到稳定的作用。抗滑桩由于没有前板桩墙，所以对于其作用机理不能等同于遮帘板桩式接岸结构，不能直接应用于此类结构的计算。因

此本文主要研究遮帘板桩式接岸结构桩土相互作用机理。

1 有限元模型建立

1.1 工程概况

广东某10万吨级码头工程项目建设规模为1个5 000吨级散货泊位及1个多用途泊位，同时拟建工程有2个5万吨级泊位，码头岸线长256 m。根据地勘资料，码头场地自上而下依次为第①层填土、第②层淤泥、第③层黏土、第④层粉细砂、第⑤层粗砂、第⑥层黏性土、第⑦层全风化花岗岩、第⑧层强风化花岗岩、第⑨层中风化花岗岩。

梁板式码头与遮帘板桩式接岸结构位置淤泥比较厚，达到25 m，码头后方堆场采用遮帘板桩式接岸结构，板桩接岸结构设计长度276 m，44 m分段5个，56 m分段1个。遮帘板桩式接岸结构由前后两排灌注桩和卸荷承台构成。前排为直径1 m的密排灌注桩，桩后用直径0.6 m搅拌桩补缝；后排也为直径1 m灌注桩，两排桩桩长均为34.5 m。梁板式码头与遮帘板桩式接岸结构断面尺寸如图1所示。

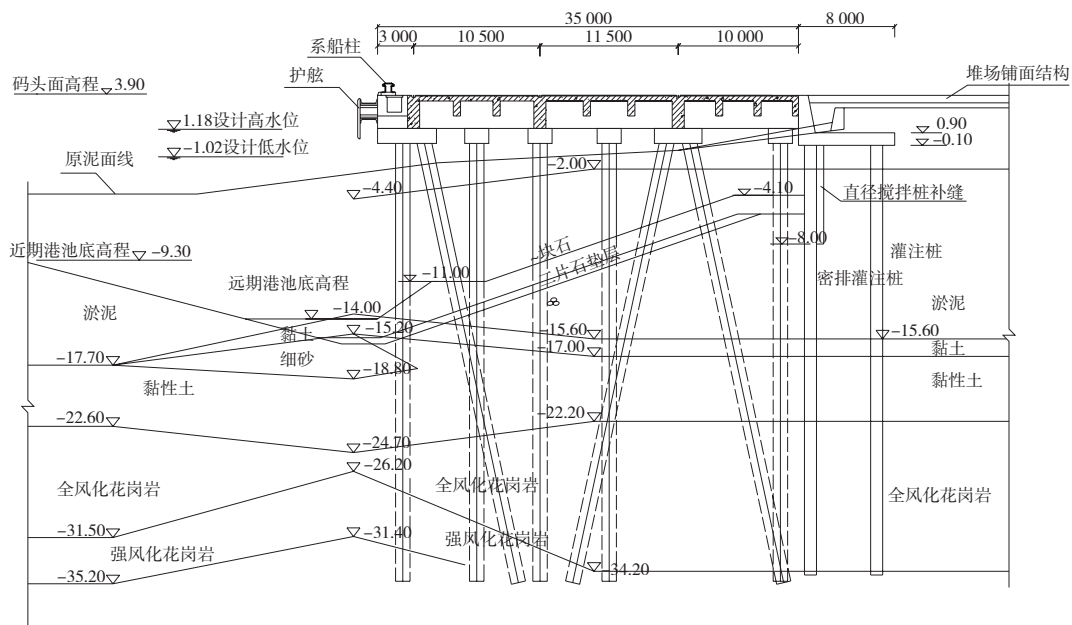


图1 码头结构断面

1.2 计算模型建立

选取地表下一定深度的单位厚度土层作为研究对象，假定土的位移限制在水平方向上。本文

按平面问题对桩土作用进行数值分析。桩的直径为 D ，桩间间距为 L ，左右边界条件取 x 方向约束，前侧边界采用 y 向约束，板桩墙与遮帘桩的前后距

离为 $4D$, 遮帘桩间距初始值为 $4D$, 后侧边界施加一定的均布荷载 q 来模拟桩后填土压力。桩间土体的本构模型采用Mohr-Coulomb模型, 桩采用线弹性模型。计算参数见表1, 其中 $D=1.0\text{ m}$, $q=30\text{ kPa}$, $L=4D$ 。桩与土体接触直接建立摩擦单元来实现。

表1 计算参数

类型	弹性模量/MPa	泊松比	内摩擦角/(°)	粘聚力/kPa
土体	50	0.30	20	30
桩	20 000	0.16		

遮帘板桩式接岸结构断面如图2, 其计算平面图简化见图3, 计算平面尺寸为 $12\text{ m} \times 20\text{ m}$, 前板桩与遮帘桩间距为 4 m , 遮帘桩与后方边界为 16 m 。

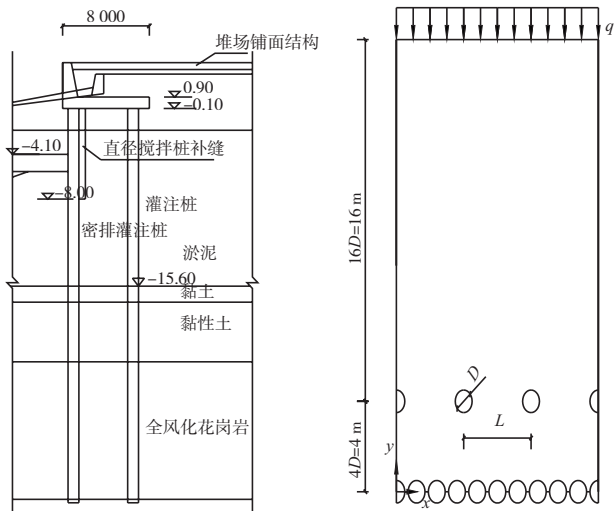


图2 接岸结构断面

图3 结构计算平面

2 数值分析

2.1 土拱效应数值分析

为了研究遮帘桩桩前剩余土压力, 计算其桩土荷载承担比 η 。在图3中, 桩后总荷载 p 为 $30\text{ kPa} \times 12\text{ m} = 360\text{ kN/m}$ 。将桩前 y 向荷载通过积分得到桩前剩余土压力 p_1 , 与总荷载的差值再除以总荷载 p , 得到桩荷载承担比 η , 结合图4即得到积分等式:

$$p_1 = \int_0^x \sigma_y dx \quad (1)$$

$$\eta = \frac{p - p_1}{p} \times 100\% \quad (2)$$

在荷载作用下, 桩土发生变形, 其 y 向应力云图见图5, 可以看出, 桩间土体应力较小, 桩后土

体应力较大, 这是由于土在外荷载作用下, 桩间土体发生较大位移, 桩后土体由于桩的阻碍, 发生较小位移, 由此引起的不均匀位移, 造成应力向桩后偏转, 呈现中间小两端大的形态, 此即为土拱效应。

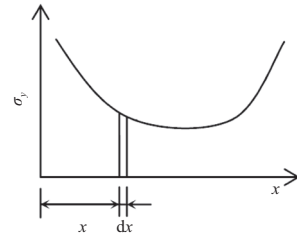


图4 y方向应力积分曲线

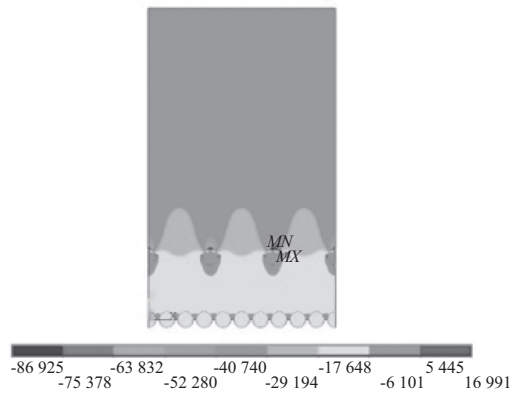


图5 y方向桩土应力云图 (单位: Pa)

结合图6与图7可以得知, 桩间土应力呈现上大下小, 土拱效应使桩后侧土压力增大, 其应力等值线具有一定的对称性, 为抛物线形式。

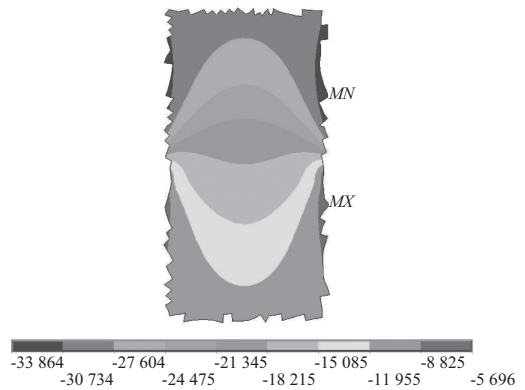


图6 y方向桩间应力云图 (单位: Pa)

由图8和图9可以得知, 桩后侧的应力明显增大, 远远超过后侧土压力 30 kPa , 其应力等值线为椭圆形, 越靠近桩侧越大。

图10为两根桩桩间的土应力随着y值不同的分布曲线图，可以得知，桩间的土应力随着不同的y值而分布不同。在遮帘桩前侧，当y=2 m时，其土应力约为10 kPa，随着y值不断增加，遮帘桩前侧的土应力慢慢减小，而桩间土应力慢慢增大，即图中y值为2 m, 3 m, 4 m时的应力曲线。在遮帘桩后侧，随着y值不断增加，遮帘桩后侧的土应力也慢慢减小，初值大于遮帘桩前侧，而桩间土应力继续增大，即图中y值为4 m, 5 m, 6 m时的应力曲线。当y=7 m时，其土应力约为30 kPa，可以得知此时的土应力已经接近外荷载q值。

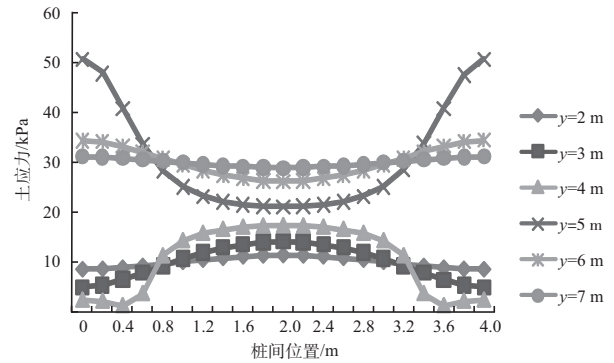


图10 桩间不同位置的y方向应力分布

2.2 主要参数数值分析

影响桩土作用的参数很多，主要为粘聚力和内摩擦角，更好地研究这些参数对桩土作用性质的影响，将有助于遮帘板桩式接岸结构的设计。

由图11可以得知，当内摩擦角一定时，随着粘聚力不断增加，桩荷载承担比不断增大，最后趋于稳定，约为65%。不同的内摩擦角，其桩荷载承担比不同，内摩擦角越大，桩荷载承担比越大，但最后都趋于稳定。由图12可以得知，当粘聚力一定时，随着内摩擦角不断增加，桩荷载承担比不断增加，不同的粘聚力时，桩荷载承担比增加比例不同。当粘聚力达到25 kPa时，随着内摩擦角的变化，桩的荷载承担比变化不大，增加在5%以内。结合图11与图12，可以得知，对桩荷载

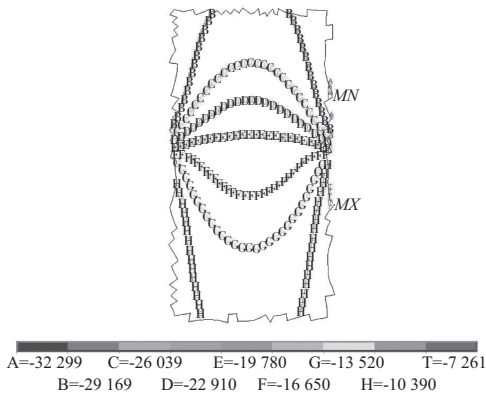


图7 y方向桩间应力等值线 (单位: Pa)

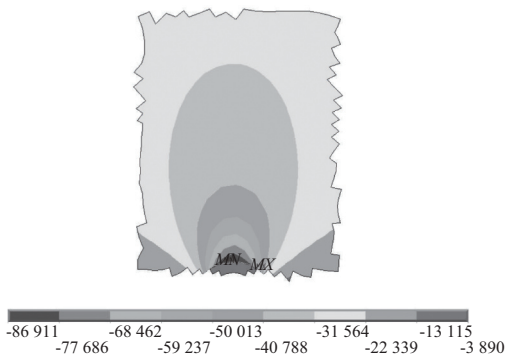


图8 y方向桩后应力云图 (单位: Pa)

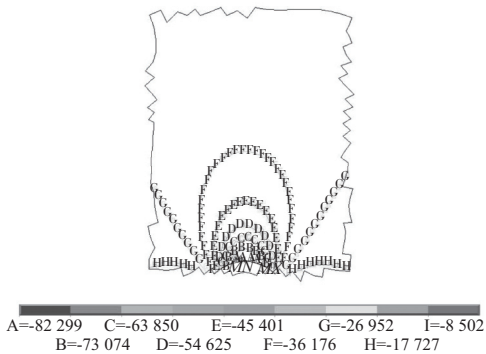


图9 y方向桩后应力等值线 (单位: Pa)

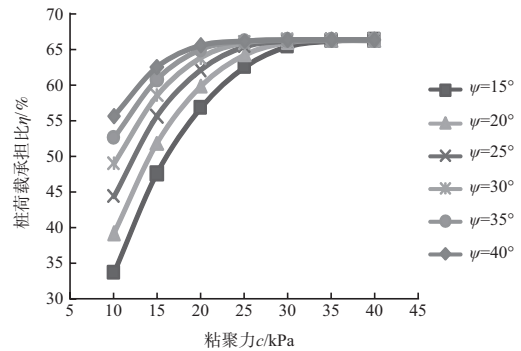


图11 不同内摩擦角下桩荷载承担比随粘聚力变化曲线

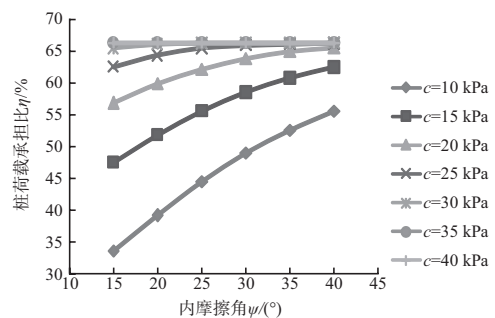


图12 不同粘聚力下桩荷载承担比随内摩擦角变化曲线

承担比的影响, 粘聚力作用较大。

2.3 桩间距分析

当遮帘桩桩间距较大时, 土拱现象无法形成, 土压力无法传递到桩上, 因而大部分荷载仍然传到前板桩上, 当间距较小时, 虽然起到了控制桩后土压力, 但是, 由于桩的数目增加, 码头总造价较大。当前板桩后遮帘桩间距较大时, 卸荷平台尺寸也相应增加, 也增大了码头造价。因此分析桩间距对土压力的影响十分重要。

由图13可以看出, 遮帘桩间距由4倍桩径增大到8倍桩径时, 桩荷载承担比明显减小, 由68%减小到40%, 减小约30%。遮帘桩间距适当, 既能起到抵挡桩后侧土压力, 又能节约总造价。在图14中, 可以得知, 桩荷载承担比随着前后桩间距增大而增大, 变化趋势较小。当间距较大时, 板桩与遮帘桩之间的土层也相应增大, 虽然遮帘桩荷载承担比有一定增加, 但是, 前板桩的荷载也会增大。因此, 在设计时, 应当从三维角度来分析桩土荷载作用。

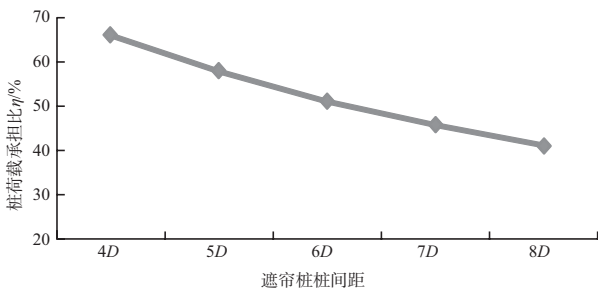


图13 桩荷载承担比随遮帘桩桩间距变化曲线

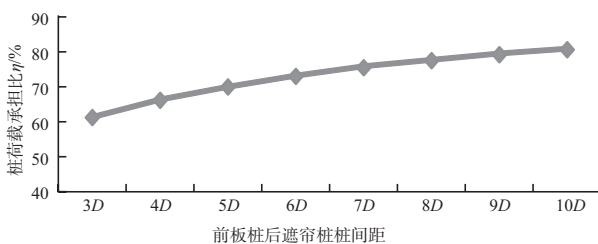


图14 桩荷载承担比随遮帘桩与前板桩桩间距变化曲线

2.4 其它参数数值分析

改变土的弹性模量、泊松比、桩土接触系数以及外荷载得到如图15~18的变化曲线。

由图15可以得知, 在土弹性模量改变时, 桩的荷载承担比基本没有变化, 为66%左右。随着泊松比的改变, 桩荷载承担比由72%慢慢减小为65%, 减小7%, 说明泊松比对桩荷载影响较小,

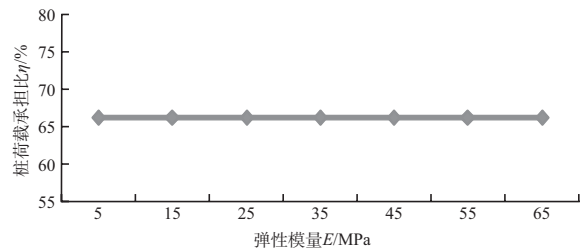


图15 桩荷载承担比随土弹性模量变化曲线

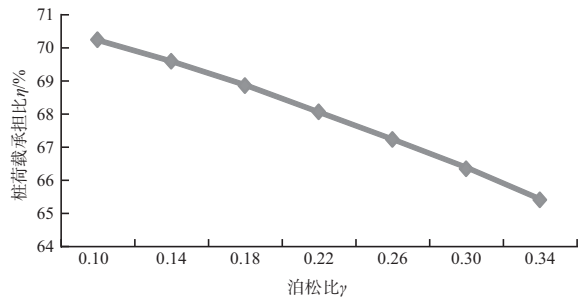


图16 桩荷载承担比随土泊松比变化曲线

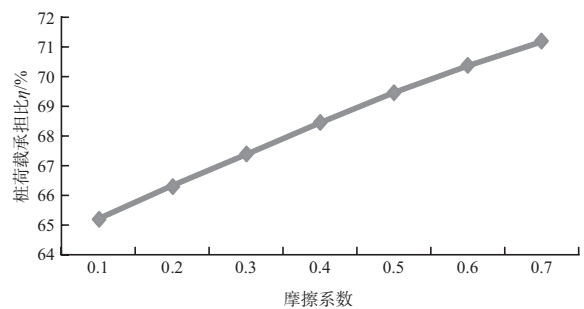


图17 桩荷载承担比随桩土摩擦系数变化曲线

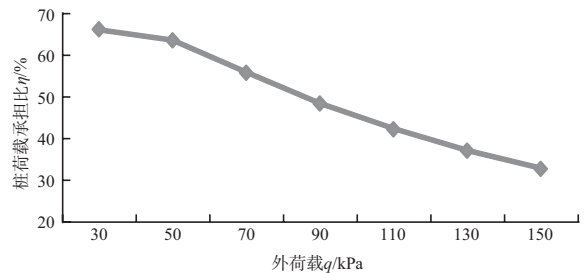


图18 桩荷载承担比随外荷载 q 变化曲线

见图16。由图17可以得知, 随着桩土摩擦系数不断增大, 桩荷载承担比也逐渐增大, 变化6%左右。当外荷载不断增加时, 由图18可以得知, 桩荷载承担比逐渐减小, 由68%降低到30%左右, 变化曲线呈现出线性变化。这是由于外荷载增大时, 桩土发生较大变形, 大部分荷载通过桩间土向前侧板桩传递, 导致遮帘桩荷载承担比例下降。在设计时不仅要考虑到单方面的因素对桩土作用的影响, 更应综合考虑各个因素, 才能做出最优化的设计。

(下接第169页)