



高桩码头凹凸缝结构水平力传递的有限元计算

刘洋, 吴遵奇, 刘阳阳

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 在高桩码头整体结构的三维有限元计算过程中, 着重考虑了增加凹凸缝结构传递水平力的环节, 从计算结果中发现, 桩基内力结果比不考虑凹凸缝传递水平力的计算结果, 无论是弯矩、剪力、扭矩和位移值均有一定程度的降低, 从而达到减小桩型、节省工程造价的目的。

关键词: 高桩码头; 凹凸缝; 水平力传递; 弹簧单元模拟约束

中图分类号: U 656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0053-05

Finite element calculation of horizontal force transmission by jagged joints of piled deck wharf

LIU Yang, WU Zun-qi, LIU Yang-yang

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: In the process of 3D finite element calculation for a whole piled deck wharf structure, we consider to increase the horizontal force transmission by jagged joints. The calculated results indicate that comparing with the case of not considering the horizontal force transmission, the internal force of pile foundation such as bending moment, shear force, torsion, and displacement can all be reduced, which can achieve a decrease of pile size and cutting down of the project cost.

Keywords: high-piled wharf; jagged joints; horizontal force transmission; spring element to simulate the constraints

当高桩码头设置有轨装卸设备时, 结构段分缝处通常采用悬臂式结构通过凹凸缝形式进行拼接, 避免码头在使用过程中因受到较大水平力而在不同结构段间产生水平错位, 防止钢轨的变形和断裂。在传统的国内高桩码头设计中, 凹凸缝一直作为一种构造要求, 不考虑其对水平力的传递, 每个高桩结构段都按照独立的结构进行计算。然而事实上凹凸缝可以作为一个受力构件, 将一个高桩结构段所承受的水平力传递到另外相邻的结构段上^[1]。特别是随着有限元软件对结构空间计算的广泛应用, 凹凸缝结构水平力传递计算均可采用国际通用有限元软件进行模拟。

在高桩码头整体结构的三维有限元计算过程中, 本文着重增加了凹凸缝结构传递水平力的环

节, 对其计算结果进行分析, 发现桩基内力结果比不考虑凹凸缝传递水平力的计算结果, 无论是弯矩、剪力、扭矩还是位移值均有一定程度的降低, 从而达到减小桩型、节省工程造价的目的。同时, 也为同类型的码头设计提供有效参考。

1 模型分析

1.1 工程概况

本文以肯尼亚某全直桩高桩码头为例, 采用国际通用有限元软件 ANSYS 对高桩码头进行整体性三维空间建模计算, 着重体现考虑凹凸缝结构传递水平力后桩基内力结果的变化情况。

码头采用高桩梁板式结构, 顶面高程和前沿水底高程分别为 5.5 m 和 -15.0 m。码头长度 900 m,

收稿日期: 2014-03-27

作者简介: 刘洋 (1982—), 女, 工程师, 主要从事港口与航道工程设计工作。

分为9个结构段。排架间距为7 m。标准的排架结构由6根桩组成，为直径0.9 m。在前后轨道梁下的排架中间各增加一根直径0.9 m的钢管桩。另，

本文选取的高桩码头在码头两边的最端部均进行了加强桩的设置，所以荷载可以不考虑施加在端排架上。码头典型断面见图1。

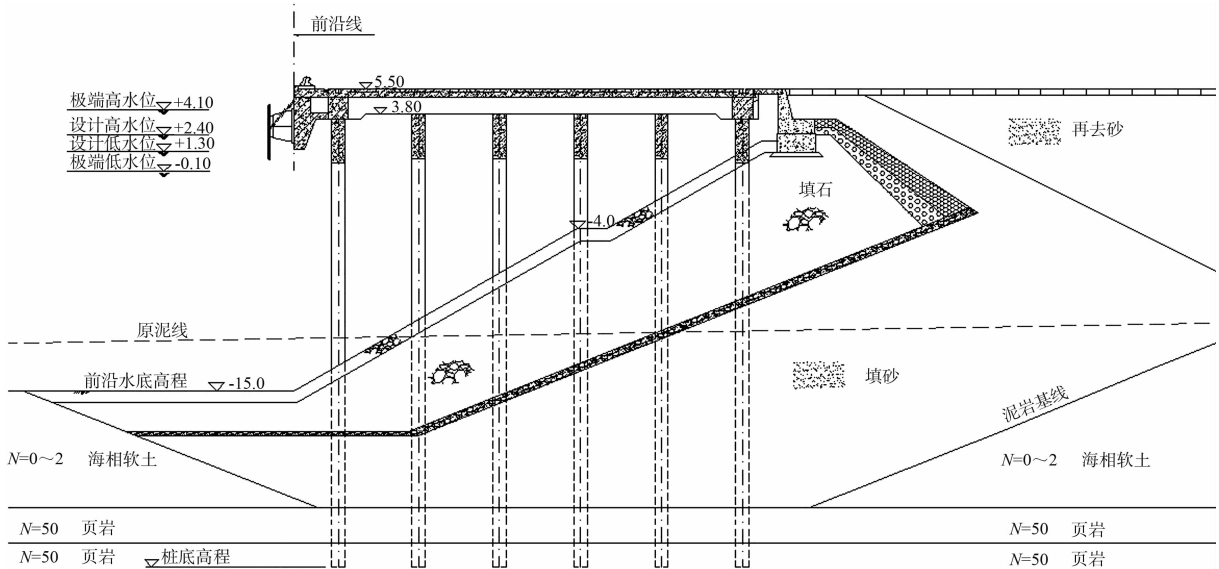


图1 码头典型断面

1.2 模拟凹凸缝传递水平力的方法与步骤

相邻结构段的水平力可考虑通过凹凸缝的约束进行传递，这样的约束在 ANSYS 中可采用具有与相邻结构段悬臂处相同刚度的弹簧单元施加在计算结构段上来代替，即为弹簧单元模拟约束的方法。则模拟凹凸缝传递水平力的方法与步骤见表1。

表1 相邻结构段约束简化模式

步骤	图示	说明
1		在结构段 A 的悬臂端施加单位力 F, 计算得出此处位移 Δ, 求出单独结构段中一个悬臂端的刚度 K
2		将刚度 K 赋予弹簧单元 Combin14
3		相邻结构段 A 和 B 采用凹凸缝拼接
4		将具有与相邻结构段 A 悬臂处刚度相同的弹簧单元施加在计算结构段 B 上, 即可模拟出相邻结构段对计算结构段的端部约束

1.3 不考虑凹凸缝水平力传递模型

将一个不考虑凹凸缝传递水平力的模型视为非弹簧约束的三维模型。选取一个 100 m 长的标准结构段通过 ANSYS 进行整体建模，采用梁单元 beam189、壳单元 shell43 和弹簧单元 combin14 为基本单元，桩基和梁采用梁单元，板采用壳单元，相邻结构段的约束采用弹簧单元模拟^[2]。梁、板和桩基均是刚性连接。不考虑凹凸缝水平力传递模型（非弹簧约束模型）见图2。

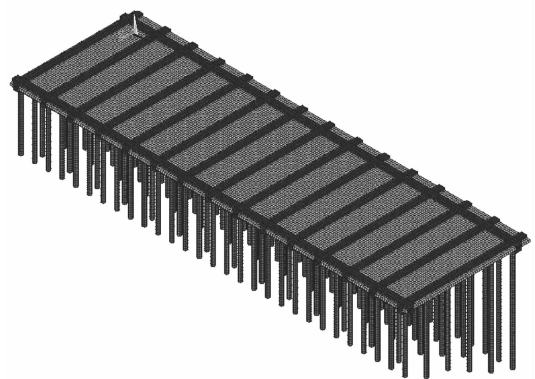


图2 非弹簧约束模型

1.4 考虑凹凸缝水平力传递模型

将一个考虑凹凸缝传递水平力的模型视为弹簧约束的三维模型，即在非弹簧约束的三维模型

上,按照表 1 的步骤通过弹簧单元模拟结构段间的约束。首先在单独的标准结构段悬臂端的凹凸缝位置施加单位力,求得在此断面形式和地质情况对应下的凹凸缝位置的位移和刚度。

在凹凸缝位置施加力 $F = 1\ 000\ \text{kN}$ (图 3),相同位置垂直码头前沿线方向的位移量为 $\Delta = 24.3\ \text{mm}$ (图 4)。相同位置沿着码头前沿线方向的位移量较小,可忽略。

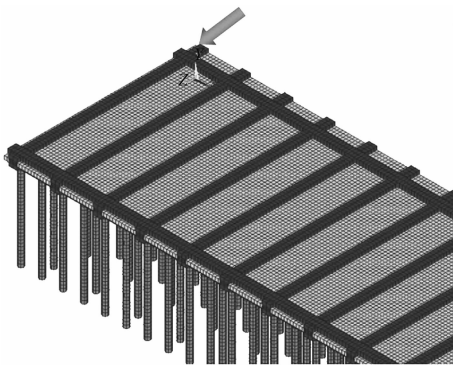


图 3 凹凸缝处施加外力

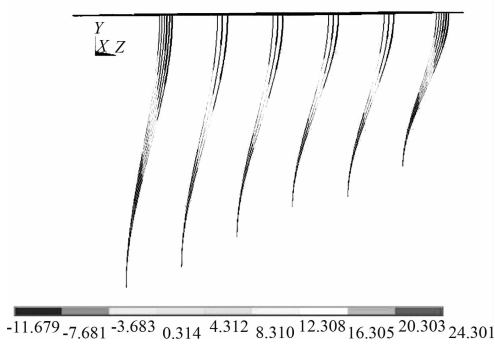


图 4 凹凸缝处位移 (单位: mm)

由此可知凹凸缝处的刚度为 $K = F/\Delta = 41\ 152.2\ \text{kN/m}$ 。将具有此刚度 K 值属性的弹簧添加在计算结构段的悬臂端,即可实现采用弹簧单元代替相邻结构段相互间约束的情况,考虑凹凸缝水平力传递模型(弹簧约束模型)见图 5。

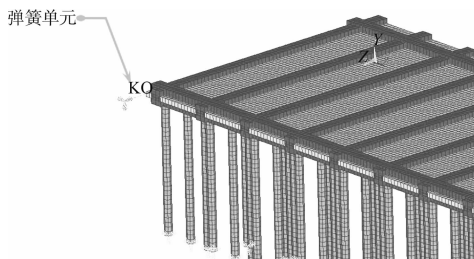
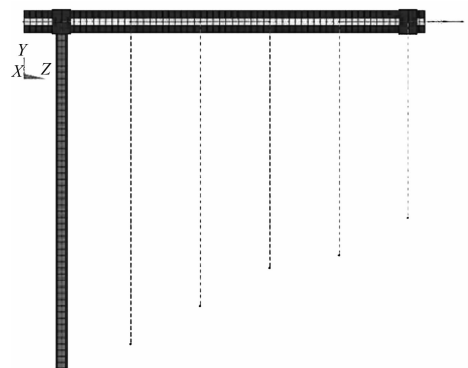


图 5 弹簧约束模型

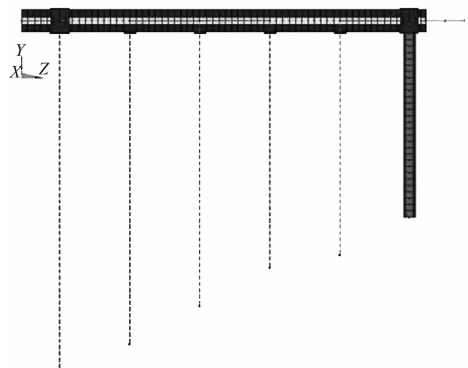
2 结果对比分析

2.1 桩基分组

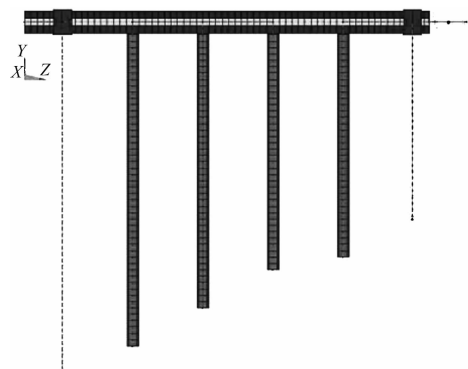
选取不考虑凹凸缝水平力传递模型(非弹簧约束模型)和考虑凹凸缝水平力传递模型(弹簧约束模型),分别在相同的荷载条件和荷载组合下进行三维模拟计算,将得出的桩基最大弯矩、剪力、扭矩、轴力和位移的结果进行对比^[3]。为了较好地观察桩基受力情况,根据桩基分布位置和受力特点将桩分为 3 组,前轨道梁下的桩为桩 1,后轨道梁下的桩为桩 2,其余桩型为桩 3,见图 6。



a) 桩 1



b) 桩 2



c) 桩 3

图 6 桩基分组

2.2 不考虑凹凸缝水平力传递模型的计算结果

非弹簧约束的三维模型为我国传统设计的简化方法，不考虑凹凸缝结构的水平传递影响，经过计算后得出的桩基内力结果见表2。

表2 不考虑凹凸缝水平力传递模型的桩基内力结果

桩组	弯矩/ (kN·m)	剪力/ kN	扭矩/ (kN·m)	轴力/ kN	位移/ mm
桩1	773.8	54.3	34.8	-2 781.1	127.2
桩2	2 013.2	261.4	60.4	-1 881.0	111.8
桩3	1 508.4	161.4	50.5	-2 328.6	123.2

注：轴力为“-”时表示压力，“+”表示拉力。

本文只列出桩基计算结果中的位移云图，不考虑凹凸缝水平力传递模型的桩基位移（图7）。

2.3 考虑凹凸缝水平力传递模型的计算结果

弹簧约束三维模型为采用具有与凹凸缝位置相同刚度的弹簧单元模拟凹凸缝结构水平力传递的模型，是本文着重研究的对象，其桩基内力的计算结果见表3。

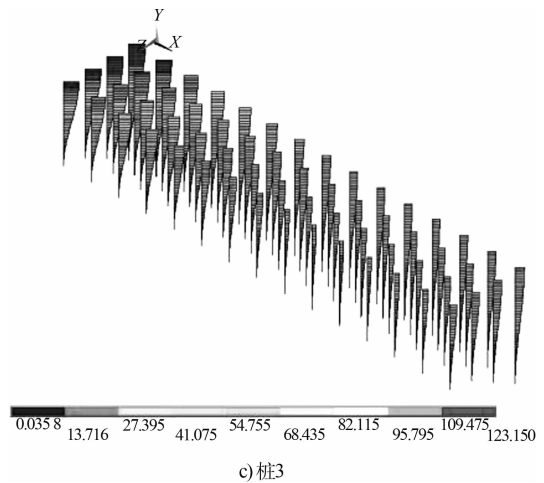
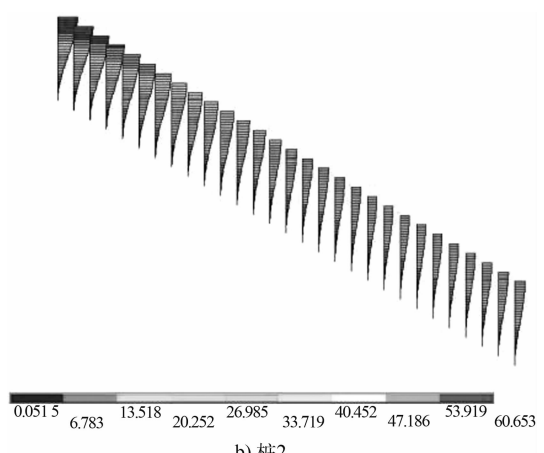
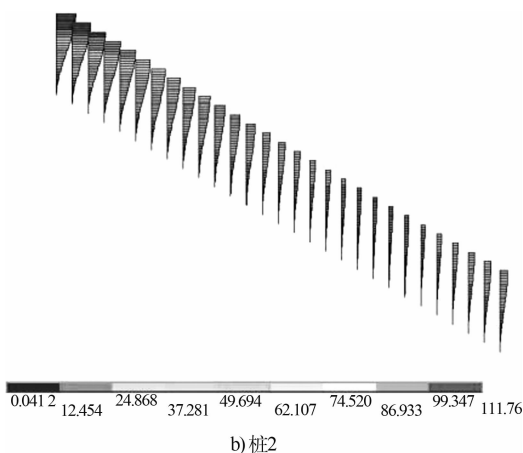
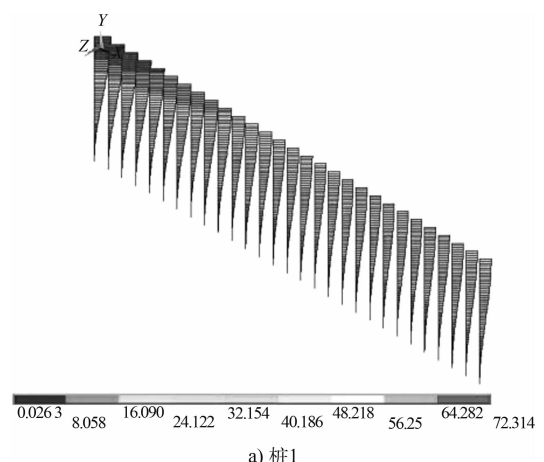
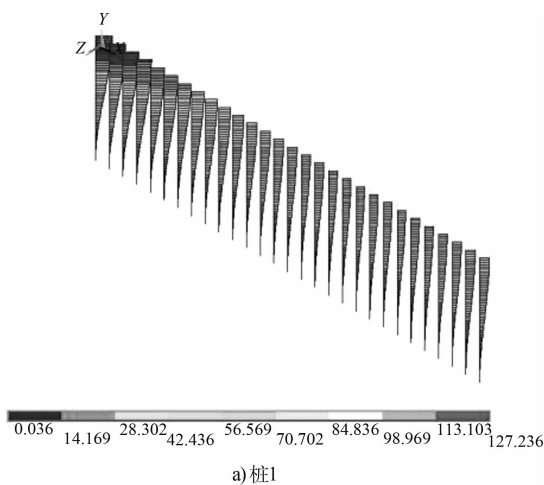


图7 不考虑凹凸缝水平力传递模型的桩基位移（单位：mm）

表3 考虑凹凸缝水平力传递模型的桩基内力结果

桩组	弯矩/ (kN·m)	剪力/ kN	扭矩/ (kN·m)	轴力/ kN	位移/ mm
桩1	451.3	29.8	16.8	-2 752.6	72.3
桩2	1 094.8	138.9	28.4	-1 949.5	60.7
桩3	832.3	85.6	23.8	-2 248.5	69.7

考虑凹凸缝水平力传递模型的桩基位移见图8。



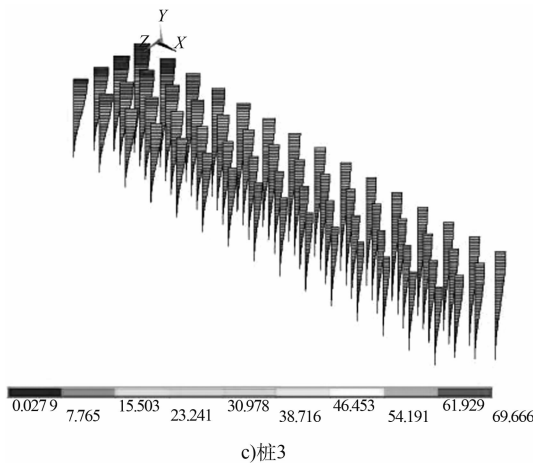


图 8 考虑凹凸缝水平力传递模型的桩基位移 (单位: mm)

2.4 结果对比

将上述不考虑凹凸缝水平力传递模型的计算结果与考虑凹凸缝水平力传递模型的计算结果进行对比, 可知全直桩高桩码头若采用考虑凹凸缝水平力传递模型进行设计和计算, 比不考虑凹凸缝水平力传递模型的计算结果, 其桩基内力的弯矩将减小约 41%, 剪力减小约 45%, 扭矩减小约 51%, 位移量减小约 43% (表 4)。

表 4 桩内力结果对比

桩组	模型	弯矩/ (kN·m)	剪力/ kN	扭矩/ (kN·m)	轴力/ kN	位移/ mm
桩 1	非约束	773.8	54.3	34.8	-2 781.1	127.2
	约束	451.3	29.8	16.8	-2 752.6	72.3
	减小率/%	41.7	45.1	51.7	1.0	43.2
桩 2	非约束	2 013.2	261.4	60.4	-1 881.0	111.8
	约束	1 094.8	138.9	28.4	-1 949.5	60.7
	减小率/%	45.6	46.9	53.0	-3.6	45.7
桩 3	非约束	1 508.4	161.4	50.5	-2 328.6	123.2
	约束	832.3	85.6	23.8	-2 248.5	69.7
	减小率/%	44.8	47.0	52.9	3.4	43.4

由此可知, 若现行设计改变传统思想, 将高桩码头的凹凸缝结构传递水平力的影响考虑到整体结构计算中, 桩基结果除轴力外, 其余内力值和位移值将不同程度减小, 从而达到减小桩型、节省工程造价的目的。

3 结语

1) 采用国际通用的有限元中弹簧单元代替凹凸缝模拟结构段间的水平传递简单可行, 计算结果准确合理。

2) 对于桩径为 0.9 m 的全直桩高桩码头, 当设计考虑了凹凸缝传递水平力作用, 采用带有弹簧约束的三维模型进行结构分析时, 得出的桩基内力结果比独立性的不带有约束的三维模型计算结果, 无论是弯矩、剪力、扭矩和位移均有一定程度的降低, 从而达到减小桩型、节省工程造价的目的。

3) 值得注意的是, 桩基内力减小的幅度跟整体结构的刚度有关。当桩径增大时, 系统结构的刚度也相应增大, 桩基内力结果减小的程度将会相应降低; 当桩径减小时, 系统结构的刚度也相应减小, 桩基内力结果减小的程度将会相应提高。

4) 改变高桩码头设计的传统思想, 将凹凸缝结构传递水平力的影响考虑到整体结构计算中, 此为设计发展的趋势。

参考文献:

[1] JTS 167-1—2010 高桩码头设计与施工规范[S].
 [2] Michael Tomlinson, John Woodward. Pile Design and Construction Practice [M]. 5th ed. New York: Taylor & Francis, 2006.
 [3] JTS 151—2011 水运工程混凝土结构设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

