



基于 Plaxis 3D 空间的 钢圆筒围护结构稳定性控制

徐雪松, 王婷婷

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 钢圆筒围护结构为桥墩施工创造干施工环境, 是施工期重要的临时辅助结构。基于有限元软件 Plaxis 3D 建立空间有限元模型模拟钢圆筒围护结构的施工过程, 采用线弹性模型模拟大圆筒结构, 采用 Hardening soil model 定义土体的本构关系, 并在圆筒与筒内土、筒外土之间均加入界面单元模拟接触的实际性质。通过计算不同工况下钢圆筒本身的变位和土体产生的位移, 探讨减小圆筒变位、增加结构稳定性的措施。

关键词: 钢圆筒围护结构; 有限元模型; 结构变位; 稳定性

中图分类号: U 655.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0161-04

Stability control of steel cylinder retaining structure based on Plaxis 3D program

XU Xue-song, WANG Ting-ting

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

Abstract: As important temporary structures during construction period, steel cylinder retaining structures offer dry environments for the pier construction. A 3D finite element model is built to simulate the constructing process of steel cylinder retaining structure by applying Plaxis 3D finite element software. The elastic model is used to simulate the cylinder, the hardening soil model is adopted as the soil constitutive model, and the interface element is set to simulate the contact between the cylinder and soil body. By calculating the displacement of the soil body and steel cylinder under different conditions, we propose several measures to reduce the displacement and enhance the structural stability.

Keywords: steel cylinder retaining structure; finite element model; structural displacement; stability

为了在外海创造小范围的干施工环境, 往往采用钢板桩加支撑的施工围堰, 需施打多根钢板桩和根据基坑的开挖深度逐级安装支撑结构, 在外海作业循环使用的功效不高。比较而言, 外海作业时采用大直径钢圆筒通过振沉等工艺插入地基中形成围护结构, 具有施工速度快、环境污染小等优点。在国外, 特别是日本海洋工程建设中应用较为广泛。在国内, 钢圆筒围护结构也有应用, 如广州南沙蒲洲大酒店护岸工程采用 40 个直径 13.5 m、高 13 ~ 34 m、壁厚 12 ~ 14 mm 的钢圆筒形成围护并在后方

回填形成了完整的护岸, 港珠澳大桥主体工程人工岛工程采用直径 22.0 m 的钢圆筒形成围护结构等^[1]。

在钢圆筒围护结构设计中需要考虑很多因素, 包括振沉与上拔分析、圆筒下沉后周边冲刷分析、结构强度验算、结构止水和抗隆起分析以及结构稳定计算等, 对此已有相关研究^[2-3]。其中, 钢圆筒作为一种围护结构, 其本身在外海波浪作用下产生的变位也是必须考虑的。本文针对钢圆筒围护结构的整个施工过程建立三维有限元模型, 计算分析圆筒本身的变位和土体产生的位移。

收稿日期: 2014-02-19

作者简介: 徐雪松 (1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事港口及航道工程设计工作。

1 工程概况

某钢圆筒围护结构为桥墩施工创造干施工环境，是施工期重要的临时辅助结构。钢圆筒振沉采用定位驳定位和导向，起重船吊多台液压锤联动振动体系振沉，先在振动体系和钢圆筒自重作用下完成自沉，然后开锤振沉至设计高程^[4]。钢圆筒直径 22.0 m，顶高程为 +6.0 m，底高程为 -29.0 m。计算中采用的设计水位及波浪力采用 20 a 一遇的潮位和 20 a 一遇的波浪组合为正常工况，并且考虑了 20 a 一遇的潮位和 100 a 一遇的波浪组合作为极端工况，设计水位及波浪力见表 1。

表 1 计算工况荷载条件

设计水位/m		设计波浪荷载标准值/kN	
20 a 一遇	设计高水位	2.97	20 a 一遇 9 892
	设计低水位	-1.35	100 a 一遇 12 960

工程区域原泥面至 -25.0 m 区域多为淤泥，-25.0 ~ -35.0 m 区域为淤泥质黏土，其下交替为淤泥质黏土、淤泥质黏土夹砂、粉质黏土。

2 模型的建立

基于有限元软件 Plaxis 3D，建立钢圆筒和钢管复合桩基础的空间有限元模型模拟钢圆筒围护结构的施工过程，根据钢圆筒所受波浪力方向定义模型的平面尺度。数值计算模型如图 1~2 所示。

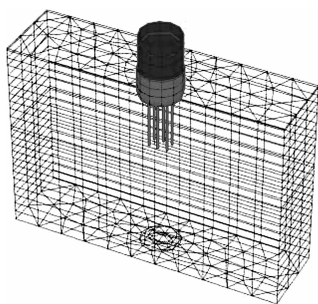


图 1 整体有限元计算模型



图 2 钢圆筒及钢管组合桩基础的有限元计算模型

1) 有限元模型及参数取值。

为了能较实际地模拟桩-土接触界面的性质，对土体采用实体单元来模拟，采用线弹性模型模拟大圆筒结构，并在圆筒与筒内土、筒外土之间均加入界面单元模拟接触的实际性质。接触面单元通过特定的数值模型，模拟不同材料之间的相互滑移、脱离等力学现象。对于结构与土之间的界面，按照一般的工程经验，取同深度土层材料强度的 2/3 作为接触面单元的强度。钢管桩采用 embedded 桩单元模拟，切合工程实际，材料属性是通过沉桩桩侧、桩端极限摩阻力来确定的。

土体采用 Hardening soil model。其弹性部分采用了合理的双刚度，即加/卸载模量分别定义，且考虑了土体模量随应力增加而增大的特性；塑性部分采用了非相关联流动法则和各向同性的硬化准则，可较好地描述曲线形式的应力应变关系和土体的剪胀性。对于本次计算，有清淤开挖卸载施工步，Hardening soil model 的加卸载模量分别定义，基本能够反映此应力路径的影响。

为了便于建模，计算模型中将实际施工情况进行了合理简化，如对斜坡开挖回填采用台阶来模拟、将计算区域内的土层厚度进行了适当平均、将较薄且参数相近的黏土层合并。

2) 边界条件。

模型的位移边界条件：4 个侧面约束其法向位移，底面约束其 3 个方向的位移；排水边界条件：底面及 4 个侧面均为不排水边界，顶面为排水边界。

3 计算结果分析

计算中分别考虑钢圆筒与桩基础之间有无安装撑架的情况，撑架是通过钢管连接钢圆筒和已施工的桩基以形成复合结构共同作用（图 3）。

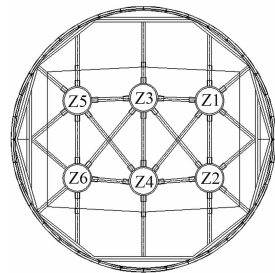


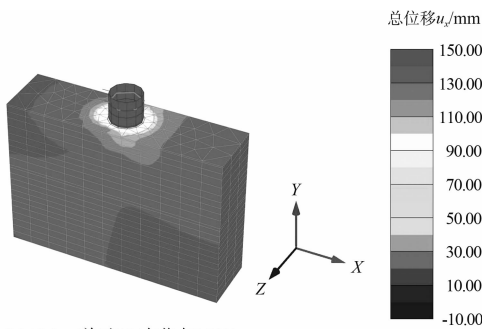
图 3 钢圆筒与桩基础连接撑架

1) 圆筒与桩基础无支撑。

模拟施工工序: 原泥面开挖至 -13 m 处进行初始的应力平衡→施打钢管桩→振沉钢圆筒钢圆筒内抽水至 -13 m→加载波浪力荷载。

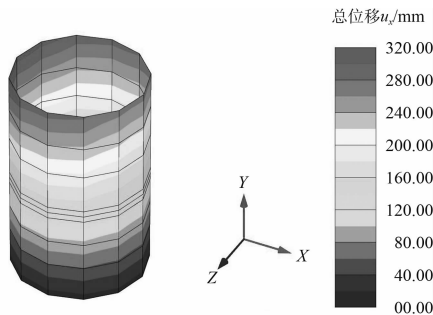
分别考虑 20 a 一遇和 100 a 一遇的波浪作用, 圆筒结构变位及土体位移见图 4~5。

可见, 20 a 一遇波浪作用下土体最大位移 14.84 cm, 圆筒最大变位 30.91 cm; 100 a 一遇波浪作用下土体最大位移 22.89 cm, 圆筒最大变位 48.12 cm。



最大值=0.148 4 m(单元747在节点2 231)
最小值=-3.712 mm(单元1 399在节点4 519)

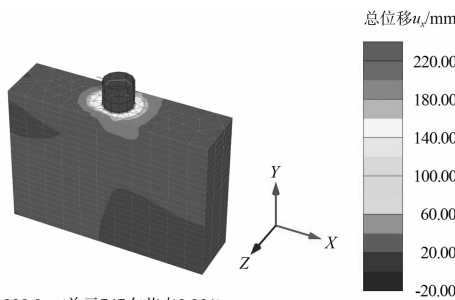
a) 土体



最大值=0.309 1 m(单元9在节点174)
最小值=0.011 34 m(单元81在节点4 314)

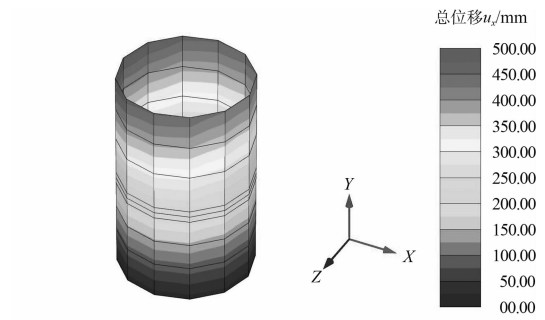
b) 圆筒

图 4 20 a 一遇波浪作用下位移 (无支撑)



最大值=0.228 9 m(单元747在节点2 231)
最小值=-4.226 mm(单元1 399在节点4 519)

a) 土体



最大值=0.481 2 m(单元9在节点174)
最小值=0.013 36 m(单元81在节点4 314)

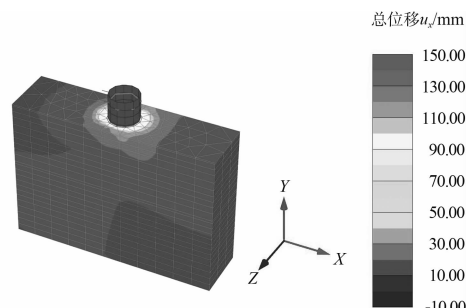
b) 圆筒

图 5 100 a 一遇波浪作用下位移 (无支撑)

2) 圆筒与桩基础有支撑。

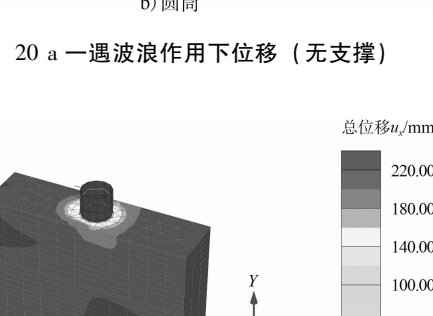
模拟施工工序: 原泥面开挖至 -13 m 处进行初始的应力平衡→施打钢管桩→振沉钢圆筒→圆筒内抽水至 -13 m→在桩基础与钢圆筒之间安装撑架 (-13 m 处)→加载波浪力荷载。

分别考虑 20 a 一遇和 100 a 一遇的波浪作用, 圆筒结构变位及土体位移如图 6~7。



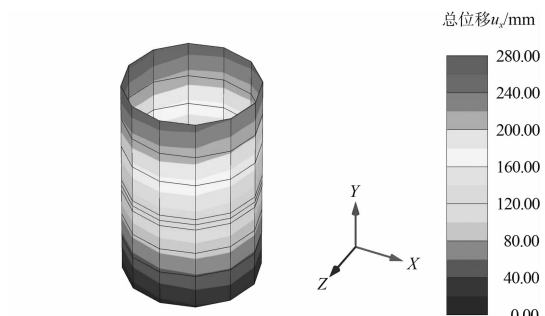
最大值=0.141 7 m(单元764在节点2 247)
最小值=-1.181 mm(单元1 399在节点4 519)

a) 土体



最大值=0.309 1 m(单元9在节点174)
最小值=0.011 34 m(单元81在节点4 314)

b) 圆筒



最大值=0.265 1 m(单元9在节点173)
最小值=1.479 mm(单元87在节点4 279)

b) 圆筒

图 6 20 a 一遇波浪作用下位移 (安装支撑)

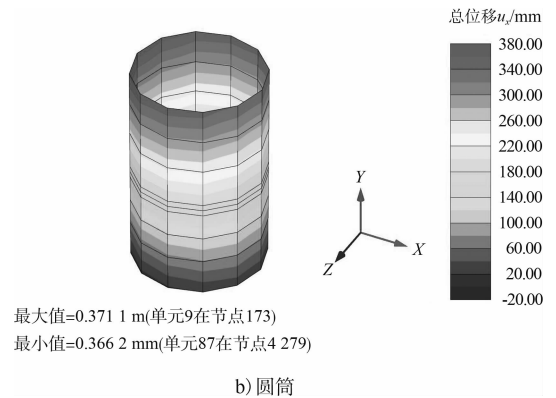
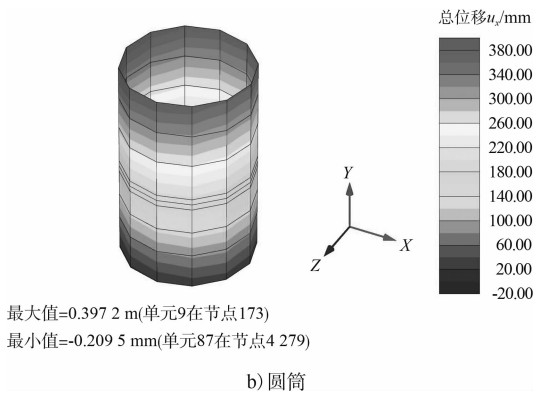
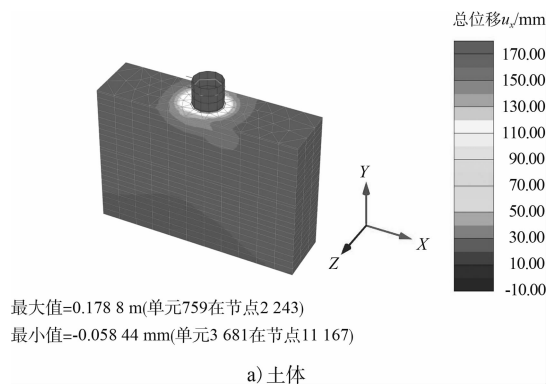
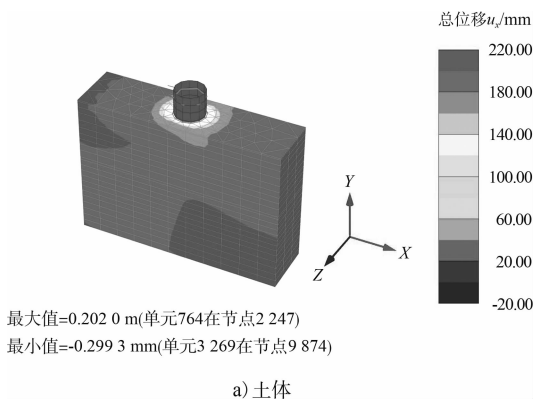


图7 100 a一遇波浪作用下位移 (安装支撑)

图8 100 a一遇波浪作用下位移 (安装支撑 + 筒内灌水)

可以看出, 安装撑架后钢圆筒在 20 a一遇和 100 a一遇波浪作用下的最大变位分别为 26.51 cm 和 39.72 cm, 与不安装支撑时相比, 位移减小 15% 左右。当然, 在 100 a一遇波浪作用时的极端工况下, 钢圆筒变位仍然较大, 此时需根据水文条件合理安排施工时间, 可通过向筒内灌水与筒外齐平的方法以进一步减小位移 (图 8), 圆筒最大变位为 37.11 cm。

3) 支撑安装在不同高程时的位移情况。

考虑筒内均灌水与筒外齐平, 分别在高程为 -5、-9、-13 m 处安装支撑, 考虑 20 a一遇的波浪力作用, 钢圆筒最大变位值见表 2。

可以看出, 钢圆筒围护结构的最大变位随着安装撑架的高程降低变化不大, 但仍然呈现出逐渐增大的趋势, 因此在施工条件允许的情况下宜将撑架安装在较高位置处。

表2 各工况下钢圆筒结构最大变位

支撑点高程位置/m	结构最大变位值/cm
-5	24.92
-9	25.02
-13	25.66

4 结论

- 1) 外海施工作业时, 通过安装圆筒与桩基础间的撑架可以减小钢圆筒的变位;
- 2) 遇到波浪很大的极端工况时, 可以结合向筒内灌水的措施以减小结构变位, 待极端天气过后重新抽水施工;
- 3) 钢圆筒围护结构的最大变位与安装撑架的位置关系不甚敏感, 在施工条件允许的情况下宜将撑架安装在较高位置处。

参考文献:

[1] 李伟仪, 卢永昌. 插入式大直径钢圆筒岸壁结构的设计实践及应用前景[J]. 水运工程, 2004(3): 24-29.

[2] 王晖, 王乐芹, 周锡初, 等. 在波浪荷载作用下插入式大圆筒结构稳定性分析评述[J]. 海洋技术, 2005, 24(1): 108-112.

[3] 冯海波. 插入式大圆筒岸壁结构设计的新思路[J]. 水运工程, 2008(12): 98-104.

[4] 孙树清. 钢圆筒围护结构在港珠澳大桥岛隧工程人工岛建设中的应用[J]. 中国水运, 2013, 13(5): 249-250.

(本文编辑 郭雪珍)