

# 试验水池施工对邻近桩基的影响分析

江 杰, 顾倩燕, 瞿 革, 朱 艳

(中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200063)

**摘要:** 对土体采用 Mohr-Coulomb 弹塑性本构模型, 用接触面单元模拟结构物-土相互作用, 利用 ABAQUS 软件建立水池-桩基的三维有限元分析模型, 分析了水池从施工到使用各个工况下格形地下连续墙的位移以及邻近桩基的附加变形, 最后通过对比, 探讨了桩基的存在对地下连续墙变形产生的积极影响, 取得了水池施工与邻近桩基相互影响的基本认识, 对于改进桩基础设计方法有一定的参考意义。

**关键词:** 格形地下连续墙; 桩基; 相互影响; 数值模拟; ABAQUS

中图分类号: TU473 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2013)S2-0588-04

作者简介: 江 杰(1979-), 男, 湖北麻城人, 博士, 高级工程师, 主要从事基坑及桩基方面设计及科研工作。E-mail: jie\_jiang001@126.com。

## Influence of construction of test pool on adjacent piles

JIANG Jie, GU Qian-yan, QU Ge, ZHU Yan

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

**Abstract:** The Mohr-Coulomb's model and the contact surface model are adopted to simulate the characters of soils and the interaction between structures and soils respectively. A 3D finite element model based on the interaction of pool and piles is established by ABAQUS software. The displacement of latticed concrete diaphragm wall and the additional distortion of adjacent piles during the construction state and the service state are analyzed. Finally, comparisons indicate that the piles have a positive effect on the concrete diaphragm wall. Through this study, the basic knowledge of the interaction between the pool construction and the adjacent piles are initially obtained, and it will be significant to the improvement of theories for piled foundation design.

**Key words:** latticed concrete diaphragm wall; pile; interaction; numerical simulation; ABAQUS

## 0 引言

某试验水池深水区尺度为 68 m(长)×28 m(宽)×19.4 m(深), 池壁采用格形地下连续墙结构。前墙厚 1.0 m, 底标高为-36.00 m, 后墙厚 0.8 m, 底标高为-34.00 m, 隔墙厚 0.8 m, 底标高为-28.00 m。地墙与上部扶壁通过顶板结合为整体, 顶板厚 1 m, 顶标高为-6.0 m, 扶壁前墙厚度为 0.4 m。水池内侧设置 0.4 m 厚度的钢筋混凝土衬砌, 底板采用与池壁衬砌分离的形式, 底板面标高-19.40 m, 板厚 1.5 m, 板底设置减压排水系统。水池上方有一座单跨钢结构试验室, 跨度 39 m, 试验室内设桥式起重机 2 台, 试验室的基础采用群桩基础, 桩基采用直径 800 mm 的钻孔灌注桩, 桩底进入持力层 1.0 m, 设置在格形地下连续墙前墙和后墙之间, 使用状态下单根桩约承受标准值为 2000 kN 的压力, 水池深水区结构布置如图 1 所示。

由于工期和施工场地的限制, 试验室基础桩基需与水池地下连续墙施工同步进行。水池基坑开挖过程

中, 必将会引起周围土体发生位移, 位移过大就会使邻近桩基产生附加的挠度变形和弯矩, 导致桩的竖向承载力降低。另一方面, 邻近基础桩基对水池基坑开挖也起到了积极作用, 它作为土体的骨架成分约束土体, 分担了部分侧向土压力, 在一定程度上减少了地下连续墙的挠度、变形和弯矩。因此, 如何考虑水池基坑开挖与邻近试验室基础桩基之间的相互影响, 是本工程关注和研究的重要问题, 具有一定的理论和现实意义。

基坑开挖对邻近桩基础的影响研究, 各国学者已经进行了大量的工作。Goh 等<sup>[1]</sup>和张陈蓉等<sup>[2]</sup>用简化的两阶段方法对基坑邻近的被动桩进行了分析。但简化方法只能对影响机理和规律进行简单的探讨, 无法考虑本工程复杂的土质和边界条件, 更不能模拟水池

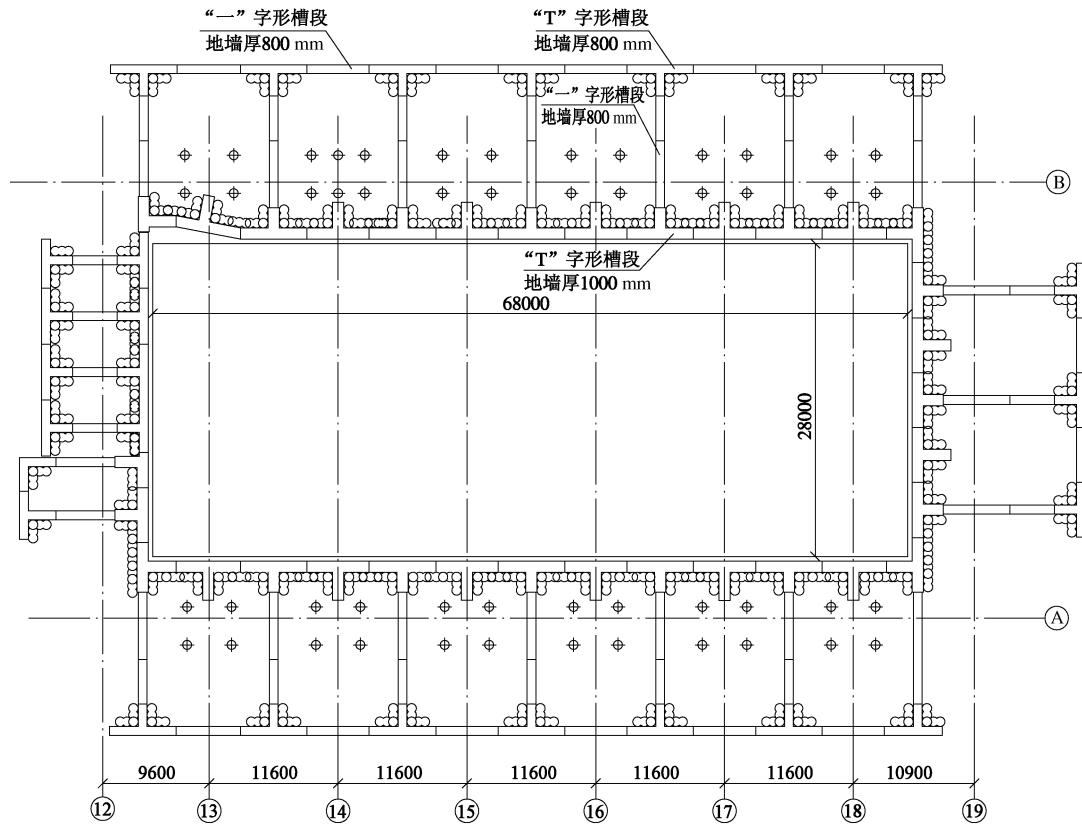


图 1 水池深水区平面图

Fig. 1 Plan of test pool

复杂的施工工况。王翠等<sup>[3]</sup>用三维有限元分析了深基坑开挖对邻近桥桩的影响机制。杨宝珠等<sup>[4]</sup>用 ABAQUS 软件对基坑开挖引起邻近桩倾斜时竖向承载性状进行了有限元分析。三维有限元可以考虑土层的不均匀性和桩土作用的非线性特性, 能够模拟复杂工况, 比较真实的反映基坑开挖对邻近桩基的影响。但本工程水池基坑与普通的建筑基坑有很多不同之处, 主要表现在: ①本水池基坑由于周边环境及使用要求, 无法设置内支撑, 也无法设置拉锚结构, 需采用格形地下连续墙这一类型的自立式的挡土结构, 其受力变形特性与普通建筑基坑不同; ②水池设有底板, 在水池后续的回填施工中, 底板将作为顶撑边界条件, 施工过程模拟比一般的建筑基坑更复杂; ③水池在使用的过程中, 存在抽水和放水工况, 格形地下连续墙将会“摇摆”变形, 需分析邻近桩基在此工况下的附加变形是否会影响到上部结构的正常使用。

本文采用 ABAQUS 软件对水池施工全过程进行数值模拟, 考虑土体的非均质、非线性特性和结构—土共同作用, 分析了水池从施工到使用各个工况下格形地下连续墙的位移以及邻近试验室基础的桩基的附加变形, 最后通过对比, 探讨了水池基坑开挖过程中桩基的存在对支护结构变形产生的积极影响。

## 1 计算方法

计算采用 ABAQUS (V6.10), 该软件是国际上功能最强大的大型通用有限元软件之一, 对岩土工程也有很强的适用性。考虑到模型的对称性、规模和计算效率, 横向取水池的一半, 纵向取⑯轴~⑰轴范围进行分析。根据经验<sup>[5]</sup>, 为了消除边界效应, 模型竖向取 2 倍的桩长。底面边界条件设置固定支座, 侧面采用水平连杆支座固定侧向位移, 顶面为自由面。结构采用线弹性模型, 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、后墙、隔墙、顶板和扶壁前墙都采用板单元模拟, 桩采用实体单元。采用有限滑动的库仑摩擦模型来模拟地下连续墙与土体之间的摩擦, 桩基与土体界面采用绑定约束。不考虑池壁衬砌的作用, 底板的顶撑采用铰支座模拟。钢筋混凝土的弹性模量取  $2 \times 10^7$  kPa, 泊松比取 0.167, 土性参数如表 1 所示。

计算工况如下:

工况 1 初始地应力平衡;

工况 2 降水至-7.50 m, 放坡开挖至-7.00 m;

工况 3 施工地下连续墙、顶板和钻孔灌注桩;

- 工况 4 降水至-21.90 m, 开挖至-21.40 m;  
 工况 5 施工底板(加顶撑边界条件);  
 工况 6 施工扶壁, 回填至±0.00 m, 水位回升至-0.50 m;  
 工况 7 桩顶施加 2000 kN 的力;  
 工况 8 试验水池灌满水;  
 工况 9 试验水池抽干水;  
 土体和桩采用 C3D8R 单元, 地下连续墙采用 S4R 单元。

表 1 土体的计算参数

Table 1 Calculating parameters of soils

编号	土层	天然重度 ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	泊松比 $\nu$	弹性模量 $/( \text{kN}\cdot\text{m}^{-2} )$	黏聚力 $/( \text{kN}\cdot\text{m}^{-2} )$	内摩擦角 ( $^{\circ}$ )
①	填土	18	0.30	$2.0 \times 10^4$	10	25
③-1	黏土	19.6	0.30	$6.8 \times 10^4$	36	15
③-2	黏土	19.2	0.30	$8.25 \times 10^4$	35	13
④-1	残积黏性土	19.9	0.28	$1.025 \times 10^5$	40	16
⑤	泥岩	22	0.25	$2.0 \times 10^5$	60	30

## 2 计算结果

由于篇幅限制, 本文只列出最不利工况(开挖工况 3、抽干水工况 9)和灌水工况 8 的计算结果, 见表 2 所示。

从表 2 可以看出, 水池的水平位移主要发生在开挖到坑底的工况(工况 3), 约占总水平位移的 85% 左右, 这是由于此时底板未浇筑, 还未形成支撑条件, 水土压力主要由悬臂式的格形地下连续墙来承担, 位移较大, 因此减少本工况下位移是控制水池总位移的关键。最大水平位移发生在格形地下连续墙前墙的顶部。由于后墙与前墙利用顶板和隔墙刚性连接, 故前墙、隔墙、后墙和前后墙之间的土体位移基本一致, 组成了类似重力体式的结构。桩基位于这种重力体之间, 其变形主要发生在开挖深度范围内, 虽然水平位移比地下连续墙略小, 但由于桩基还需承受上部结构的荷载, 水池施工阶段产生的附加变形和弯矩必将导致桩的竖向承载力降低, 需引起设计人员的高度重视。从总体位移云图上可以看出, 离开后墙 1/2 开挖深度处的水平位移仅为总位移的 15% 左右, 故设计人员应尽量考虑将桩基设置在格形地下连续墙之外, 以减小桩基的初始变形。工况 8 中水池灌满水对格形地下墙受力是有利的, 水池和桩基的最大水平位移减少约 13 mm 左右。但该工况是在上部结构建成后发生的, 必然对上部结构产生不利影响, 设计人员在上部结构设计中需考虑此影响, 确保上部结构具备这种变形协调的能力。

表 2 各工况水平位移

Table 2 Horizontal displacements of various cases

工况	整体最大水平位移/mm	格形地下连续墙最大水平位移/mm	邻近桩基最大水平位移/mm
3	56.7	56.7	50.6
8	54.0	54.0	47.9
9	66.7	66.7	60.6

为了分析桩基的存在对水池基坑开挖的影响, 计算另外一个模型, 即不设桩基, 即把承台直接与格形地下连续墙的顶板相连接, 上部结构传下来的荷载全部由格形地下连续墙来承担。此模型的计算方法与第二节的一致, 只需在原模型上作局部修改即可, 即把桩基的材料参数设置为相应土体的材料参数, 并在承台上施加 8000 kN 的竖向力, 计算结果见图 2~4 所示。

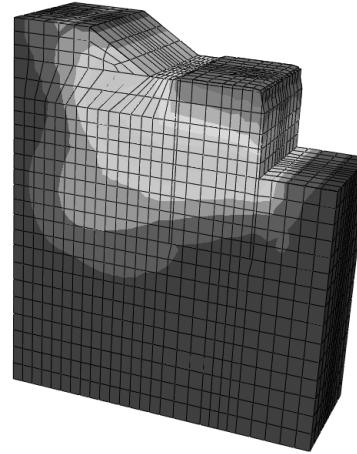
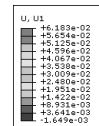


图 2 整体最大水平位移 61.8 mm(开挖工况 3)

Fig. 2 Maximum horizontal displacement of 61.8 mm (excavation case 3)

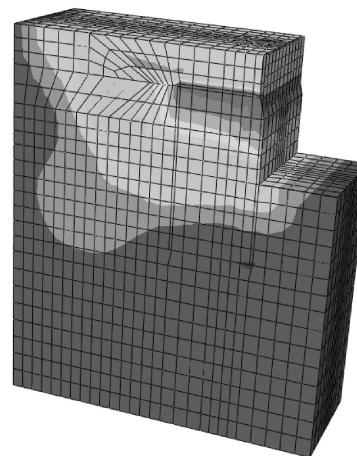
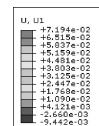


图 3 整体最大水平位移 71.9 mm(抽干水工况 9)

Fig. 3 Maximum horizontal displacement of 71.9 mm (water-drawing case 9)

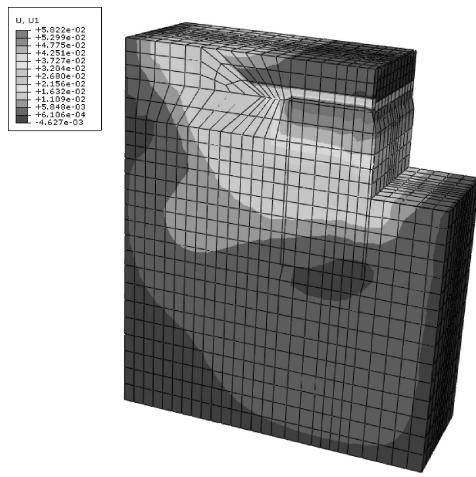


图 4 整体最大水平位移 58.2 mm (灌水工况 8)

Fig. 4 Maximum horizontal displacement of 58.2 mm  
(water flooding case 8)

从以上结果可以看出, 不设桩基时水池的变形规律与有桩时基本一致, 但变形量有所增大, 这说明桩基的存在对水池基坑开挖起到了积极作用。

### 3 结 论

对水池施工全过程进行数值模拟, 分析了水池从施工到使用各个工况下格形地下连续墙的位移以及邻近试验室基础的桩基的附加变形, 最后比较了两个模型结果, 得到如下结论:

(1) 水池的水平位移主要发生在开挖到坑底还未施工底板时的工况, 约占总水平位移的 85%左右, 减少本工况下位移是控制水池总位移的关键。

(2) 格形地下连续墙是一种重力式挡土结构, 在格形体内位移基本保持一致, 格形体外位移迅速衰减。如要减少桩基的初始变形, 宜将其设置在格形体外一定的距离。

(3) 水池灌水虽然对地下连续墙的受力状态有利, 但会对上部结构产生不利影响。设计人员应采取有效措施来确保上部结构具备“摇摆”变形协调的能力。

(4) 水池基坑的开挖对邻近桩基产生了附加变形, 同时桩基的存在对水池基坑开挖也起到了积极作用, 由于常规的设计方法无法考虑这种作用, 可将此

作为项目的安全储备。

需要指出的是, 本文水池抽水、灌水工况的计算结果没有考虑土体蠕变等因素, 且数值模拟只是一种理想化的理论计算, 其精度受土性参数、本构模型、边界条件等因素的影响, 而且实际工程更加复杂, 施工质量、施工顺序往往是影响变形的关键因素, 因此, 本文分析结果只能作为设计的参考。

### 参考文献:

- [1] GOH A T, TEH C I, WONG K S. Analysis of piles subjected to embankment induced lateral soil movement[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1997, **123**(9): 792 – 801.
- [2] 张陈蓉, 黄茂松. 基坑开挖引起的邻近建筑物桩基变形受力响应[J]. 岩土工程学报, 2012, **34**(增刊): 565 – 570. (ZHANG Chen-rong, HUANG Mao-song. Behavior of pile foundation due to excavation-induced lateral soil movement[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, **34**(S0): 565 – 570. (in Chinese))
- [3] 王翠, 闫澍旺, 张启斌. 深基坑开挖对邻近桥桩的影响机制及控制措施研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010(增刊): 2994 – 3000. (WANG Cui, YAN Shu-wang, ZHANG Qi-bin. Study of influence of deep pit excavation on adjacent bridge foundation piles [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010(S0): 2994 – 3000. (in Chinese))
- [4] 杨宝珠, 王丽, 郑刚. 基坑开挖引起临近桩倾斜时竖向承载性状有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2008, **30**(增刊): 144 – 150. (YANG Bao-zhu, WANG Li, ZHENG Gang. Analysis on bearing of inclined piles due to adjacent excavation by use of finite element method[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, **30**(S0): 144 – 150. (in Chinese))
- [5] 江杰. 卸荷式板桩码头的数值模拟分析[J]. 水运工程, 2012(11): 31 – 35. (JIANG Jie. Numerical simulation for sheet-pile wharf with relieving platform[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(11): 31 – 35. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)