

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2015.03.038

格形地连墙的三维有限元分析

时爱祥¹, 邓祥吉², 仇建春³, 梁嘉琛³, 戴波³

(1. 江苏省水利建设工程有限公司, 江苏 扬州 225009; 2. 四川省德阳市水务局, 四川 德阳 618000;
3. 河海大学 水利水电学院, 南京 210098)

摘要:应用 ABAQUS 有限元软件, 采用三维有限单元法模拟某基坑开挖过程, 重点分析了格形地下连续墙的水平位移与应力分布。研究发现, 格形地连墙与一般地连墙的位移分布特征不同, 墙顶位移较小, 墙底位移最大; 内外纵墙通过隔墙相连增强了整体的稳定性, 隔墙因此处于受拉状态。研究结果可为工程方案设计、基坑工程的安全与稳定性的论证提供依据。

关键词: 基坑开挖; 格形地下连续墙; 位移; 应力; 有限元

中图分类号: TV 698.1; TP18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)03-0571-04

Three dimensional finite element analysis of cellular diaphragm wall

SHI Aixiang¹, DENG Xiangji², QIU Jianchun³, LIANG Jiachen³, DAI Bo³

(1. Jiangsu Hydraulic Engineering Construction Co. Ltd, Yangzhou 225009, China; 2. Deyang Water Authority, Deyang 618000, China; 3. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Three dimensional finite element method was used to simulate the excavation process of a foundation pit and to analyze the horizontal displacement and stress distribution of the cellular diaphragm wall. Finite element software ABAQUS was used to conduct the simulation. The results showed that the displacement distribution characteristics of the cellular diaphragm wall are different from those of the general diaphragm wall with smaller displacement at the wall top but largest displacement at wall bottom. The internal and external longitudinal walls are connected through the partition wall, which enhances the overall stability, and the partition wall bears the tension. The research provides the theoretic basis for engineering design, and the demonstration of safety and stability of the foundation pit engineering.

Key words: foundation pit excavation; cellular diaphragm wall; displacement; stress; finite element

格形地下连续墙(以下简称为格形地连墙)^[1-4]有着墙体刚度大、依靠自身即可承担基坑施工过程中坑外水土压力的特点,已逐渐成为深基坑工程^[5-10]的支护型式,较好地保证了深基坑工程的安全与稳定^[11]。格形地下连续墙由内、外纵墙与横隔墙组成,结构形式较为复杂,目前关于格形地下连续墙的研究较少,为此本文以某深基坑工程为例,采用有限单元法^[12]模拟基坑的施工过程^[13],研究格形地下连续墙在基坑施工过程中的水利位移与应力分布特性。

1 数值模型

1.1 工程概况

某深基坑工程区为软土,各土层层厚、土层力学参数及物理力学指标见表1。基坑开挖深度较大,达16.0 m,开挖

平面尺寸较大,基坑支护结构采用格形地下连续墙见图1。基坑外土体表面高程为10.0 m,格形地下连续墙墙顶高程与地表同高,内外纵墙深度为37.0 m;隔墙长度为7.6 m,深度为4.0 m,宽度为1.2 m,相邻隔墙间距为6.0 m。

表1 工程区土层力学参数

Tab.1 The mechanical parameters of soils

土层号	土层描述	层厚 / m	密度 / (g · cm ⁻³)	弹性模量 / MPa	泊松比	黏聚力 / kPa	内摩擦角(°)
1	淤泥质土	4.0	1.580	8.0	0.30	8.0	6.0
2	砂土	6.0	1.790	12.8	0.32	10.0	18.0
3	粉质黏土	6.0	1.890	14.6	0.33	18.3	18.2
4	粉质壤土	9.75	1.930	11.3	0.33	10.5	29.4
5	粉质黏土	11.25	1.938	18.5	0.33	25	18
6	黏土	18.0	1.945	24.2	0.35	13.2	14.0
7	黏土	25.0	1.950	27.6	0.35	15.0	24.0

收稿日期: 2014-08-27 修回日期: 2015-04-27 网络出版时间: 2015-05-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150514.1141.015.html>

作者简介: 时爱祥(1965),男,江苏扬州人,高级工程师,主要从事基础工程施工与管理方面研究。E-mail: 465544797@qq.com

通讯作者: 仇建春(1989),男,江苏扬州人,博士,主要从事水工结构方面研究。E-mail: 121267184@qq.com

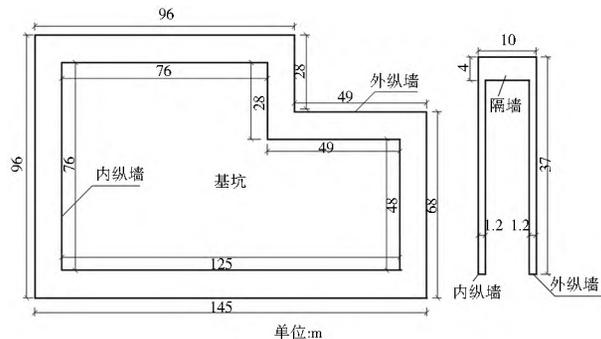


图 1 基坑平面及格形地下连续墙尺寸示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the dimension of the foundation pit and cellular diaphragm wall

1.2 数值模拟

本文采用大型有限元软件 ABAQUS 进行数值模拟分析^[4]。由于软土中深基坑墙后地表的沉降影响范围可达到 4 倍的基坑开挖深度(16.0 m),为此自格形地下连续墙外纵墙分别向四周延伸 4 倍的基坑开挖深度,模型竖直向下延伸 64.0 m 至高程 -70.0 m,模型尺寸为 271 m × 224 m × 80 m,拆分网格见图 2。

数值模拟中,格形地下连续墙及土体均采用 8 节点实体单元 C3D8 模拟;土体采用 Mohr column 弹塑性本构模型^[15],地下连续墙采用线弹性的本构模型,其弹性模量为 24 GPa,泊松比为 0.2,密度为 2.4 g/cm³;模型四周施加水平方向约束,底面固定。格形地下连续墙的数值模拟图见图 3。

深基坑工程开挖需进行分步开挖,以便分析与监测基坑工程在不同开挖深度下的变形效应。为此,该基坑工程模拟选取 4 个开挖步骤进行分析,每次开挖深度为 4.0 m。

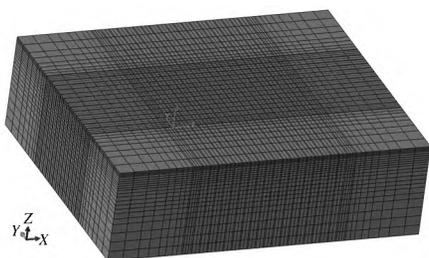


图 2 基坑工程整体网格

Fig. 2 The overall model grids of the foundation pit

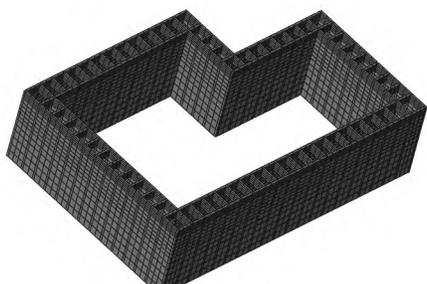


图 3 格形地下连续墙数值模拟

Fig. 3 Schematic diagram showing the numerical simulation of cellular diaphragm wall

2 计算结果

2.1 地连墙位移分析

针对开挖卸荷载导致的格形地下连续墙的位移,将以水

平向位移作为监测与重点分析对象。如图 4 所示, A、B、C、D 为格形地连墙四个纵向断面, A1、A2、C1、C2、E 为所在格形地连墙的标识位置。选择格形地下连续墙墙顶、墙底以及内纵墙 A、B、C、D 四个断面进行水平向位移进行分析。

图 4 与图 5 分别开挖至基坑底部时地下连续墙墙顶和墙底的水平向位移,图中 X 向墙体的位移发生了 Y 向位移, Y 向墙体发生了 X 向位移,正值表示向 X 或 Y 方向正方向发生移动,负值表示向 X 或 Y 方向负方向发生移动。可以看出格形地下连续墙墙顶水平向位移较小,而墙底水平向位移较大, E 断面位置墙顶及墙底的水平向位移最大,其中墙底 X 向位移为 -63.4 mm, Y 向位移为 -92.7 mm,均指向基坑内。

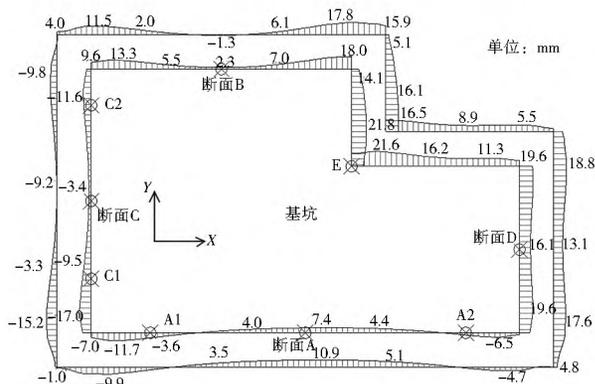


图 4 格形地下连续墙墙顶水平向位移

Fig. 4 The horizontal displacement of the top of cellular diaphragm wall

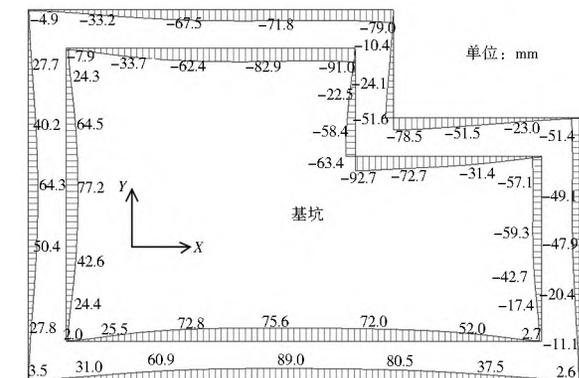


图 5 格形地下连续墙墙底水平向位移

Fig. 5 The horizontal displacement of the bottom of cellular diaphragm wall

图 6~图 9 分别为 A、B、C、D 断面在不同开挖深度下的水平向位移量。可以看出,格形地下连续墙四个断面的水平向位移随着基坑开挖深度逐渐增大,这是由于开挖深度递增引起的位移叠加引起的;各断面水平向位移随着地连墙深度的增大而增大,墙顶位移最小,而墙底位移最大,且地连墙墙顶部分位置未向基坑内位移,这与一般地连墙的位移分布特征不同,主要是由于上部隔墙连接导致格形地下连续墙上部结构刚度较大所致。

2.2 地连墙应力分析

由于基坑开挖导致格形地下连续墙的应力增大,会对混凝土结构有拉裂破坏的影响。为此需要掌握地连墙在开挖过程的应力变化,以供设计人员分析及配筋之用。本文取格形地下连续墙 A 断面与 A1A2 段进行应力分析,其中 A1A2

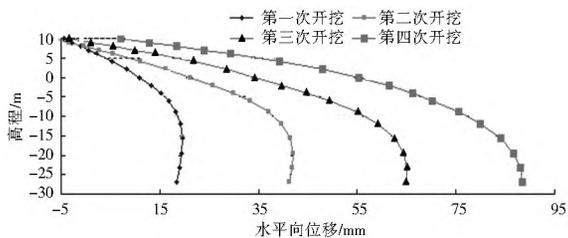


图 6 地连墙 A 断面水平向位移

Fig. 6 The horizontal displacement of section A

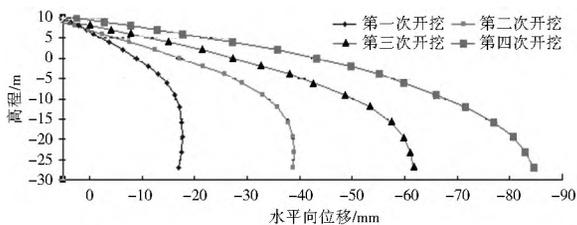


图 7 地连墙 B 断面水平向位移

Fig. 7 The horizontal displacement of Section B

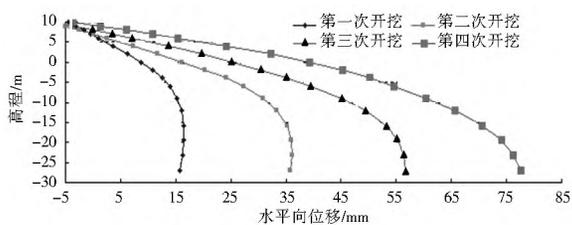


图 8 地连墙 C 断面水平向位移

Fig. 8 The horizontal displacement of Section C

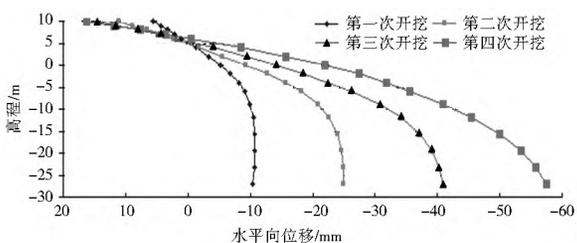


图 9 地连墙 D 断面水平向位移

Fig. 9 The horizontal displacement of Section D

段为如图 4 所示位置,考虑到 A 断面 Y 向位移较大,会造成较大的 X 向拉应力,因此重点分析该断面的 X 向应力。

图 10 与图 11 分别为 A 断面内侧与外侧 X 向应力,可以看出,格形地下连续墙 A 断面内侧及外侧应力均随基坑开挖深度的增大而增大,且随着高程降低,应力逐渐变小,并由拉应力逐渐变为压应力;地连墙内侧应力较外侧应力更大,开挖至基坑底部时墙顶内侧应力最大,达到 5.3 MPa,墙顶外侧应力为 2.8 MPa;格形地连墙下部位置 X 向应力及 Y 向应力均处于受压状态,最大压应力为 -3.1 MPa。

图 12 与图 13 分别为格形地下连续墙 A1-A2 段 X 向应力与 Y 向应力。由图 12 可以看出,格形地下连续墙 A1-A2 段内纵墙墙顶 X 向应力处于受拉状态,且墙顶中部位置 X 向应力最大,地连墙内纵墙墙底处于受压状态,相对与内纵墙,外纵墙应力较小,对于格形地连墙 A1-A2 段内纵墙墙顶 X 向应力为全截面受拉状态,且应力较大,为此应采取加配钢筋或者其它工程措施,以免地连墙受拉破坏。由图 13 可以看出,格形地连墙隔墙 Y 向应力处于受拉状态,这主要是

因为内纵墙与外纵墙作为一个整体,发生协调变形所致,最大拉应力达到 1.7 MPa。

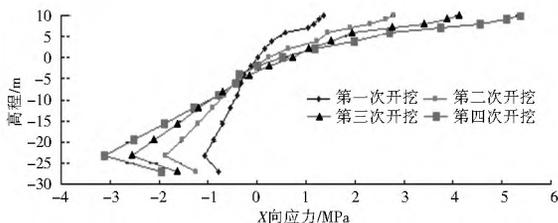


图 10 地连墙 A 断面内侧 X 向应力

Fig. 10 The stress in X direction for the inside of section A

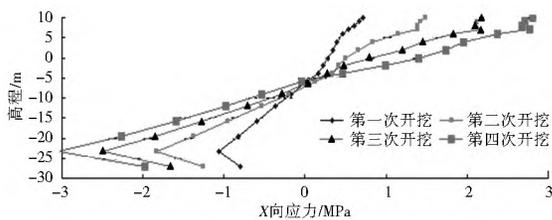


图 11 地连墙 A 断面外侧 X 向应力

Fig. 11 The stress in X direction for the outside of section A

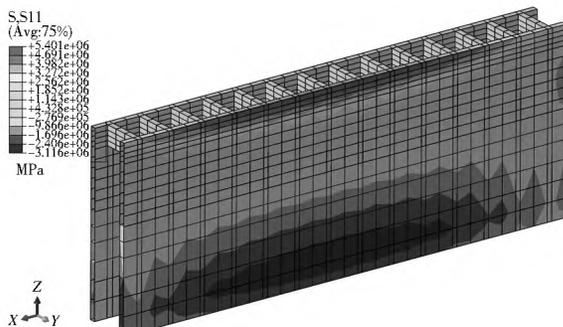


图 12 地连墙 A1-A2 段 X 向应力

Fig. 12 The stress in X direction for the section of A1-A2

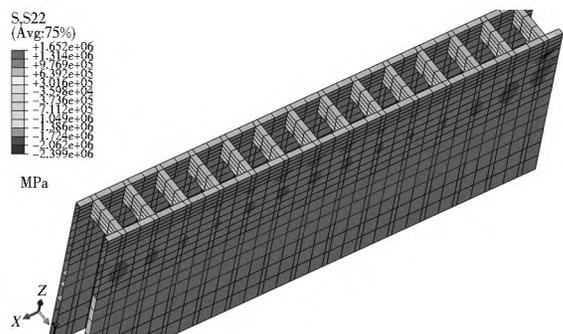


图 13 地连墙 A1-A2 段 Y 向应力

Fig. 13 The stress in Y direction for the section of A1-A2

3 结论

(1) 格形地下连续墙由于基坑开挖卸荷的影响,将产生位移。随着基坑开挖深度的增加,格形地下连续墙的位移逐渐增大;由于上部隔墙的影响,格形地下连续墙的位移分布特征与一般地连墙的位移分布特征不同,墙顶附近位移较小,墙底位移最大,这对于控制土体表面位移有利。

(2) 格形地下连续墙的应力随着基坑开挖深度的增大而增大。其中,内纵墙应力随着高程的降低而降低,墙顶处于

受拉状态,墙底处于受压状态。内纵墙墙顶位置附近出现全截面受拉的状态,应该对其进行加强配筋或者其它工程措施,以保证格形地连续墙及基坑工程的稳定性与安全。

(3) 隔墙将内纵墙与外纵墙连成一个整体,增大了结构整体的刚度。受开挖影响,隔墙也处于受拉状态。

参考文献(References):

- [1] 侯永茂. 软土地层中格形地下连续墙围护结构性状研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010. (HOU Yong mao, Behavior of cellular diaphragm wall in soft deposit [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2010 (in Chinese))
- [2] 仇建春, 时爱祥, 夏友超, 等. 双排格形地下连续墙的空间变形三维有限元分析[J]. 水利水电技术. 2014(8): 78-82. (QIU Jian chun, SHI Ai xiang, XIA You chao, et al. 3-D Finite element analysis on spatial deformation of double row cellular continuous diaphragm wall[J]. Water Resources and Hydropower Engineering. 2014(8): 78-82. (in Chinese))
- [3] 周广柱, 徐伟, 陈宇. 格形地连墙与软土相互作用的离心试验研究[J]. 岩土力学. 2011(S1): 134-140. (ZHOU Guang zhu, XU Wei, YU Chen. Centrifugal model test study of interaction of gridding concrete retaining wall and soft soil[J]. Rock and Soil Mechanics. 2011(S1): 134-140. (in Chinese))
- [4] 夏建国. 格形地连墙结构的设计与施工方案探讨[J]. 水运工程. 2004(11): 88-91. (XIA Jian guo. Design and construction schemes of cellular diaphragm wall[J]. Port & Waterway Engineering. 2004(11): 88-91. (in Chinese))
- [5] 冯微. 深基坑支护技术在水利工程中的应用[D]. 南京: 河海大学, 2006. (FENG Wei. The application of supporting techniques for deep foundation pit to water conservancy engineering[D]. Nanjing: Hohai University, 2006. (in Chinese))
- [6] 胡强. 深基坑工程建模理论与稳定性评判的关键技术研究[D]. 南京: 河海大学, 2004. (HU Qiang. The critical technology research of modeling theory and stability judgement in deep foundation pit[D]. Nanjing: Hohai University, 2004. (in Chinese))
- [7] 宋二祥, 娄鹏, 陆新征, 等. 某特深基坑支护的非线性三维有限元分析[J]. 岩土力学. 2004(04): 538-543. (SONG Er xiang, LOU peng, LU Xin zheng, et al. Nonlinear 3D finite element analysis of an extremely deep excavation support system [J]. Rock and Soil Mechanics. 2004(04): 538-543. (in Chinese))
- [8] 陆新征, 宋二祥, 吉林, 等. 某特深基坑考虑支护结构与土体共同作用的三维有限元分析[J]. 岩土工程学报. 2003(04): 488-491. (LU Xin zhen, SONG Er xiang, JI Lin, et al. 3-Dimensional FEA for the interaction between supporting structure of excavation and soil in a very deep pit [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 2003(04): 488-491. (in Chinese))
- [9] 况龙川. 深基坑施工对地铁隧道的影响[J]. 岩土工程学报. 2000(03): 284-288. (KUANG Long chun. Influence of construction of deep foundation pit on tunnels of metro [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 2000(03): 284-288. (in Chinese))
- [10] 俞建霖, 龚晓南. 深基坑工程的空间性状分析[J]. 岩土工程学报. 1999(1): 24-28. (YU Jian lin, GONG Xiao nan. Spatial behavior analysis of deep excavation [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 1999(1): 24-28. (in Chinese))
- [11] 陈宇, 徐伟. 格形地下连续墙的工作性能及施工技术研究[J]. 建筑技术. 2011(12): 1099-1102. (CHEN Yu, XU Wei. Research on performance and construction technique of grid type underground diaphragm wall [J]. Architecture Technology. 2011(12): 1099-1102. (in Chinese))
- [12] 王勖成. 有限单元法[M]. 清华大学出版社, 2003. (WANG Xu cheng. Finite element method [M]. Tsinghua University Press, 2003. (in Chinese))
- [13] 葛伟亚. 某工程基坑支护设计与施工[J]. 西部探矿工程. 2004(3): 5-6. (Ge Wei ya. Design and construction of a foundation support project [J]. West-China Exploration Engineering. 2004(3): 5-6. (in Chinese))
- [14] 费康. ABAQUS 在岩土工程中的应用[M]. 中国水利水电出版社, 2010. (FEI Kang. The application of ABAQUS in geotechnical engineering [M]. China WaterPower Press, 2010. (in Chinese))
- [15] 雷扬. 基坑开挖对临近桩基影响的实测及三维有限元数值模拟分析[D]. 天津: 天津大学, 2006. (LEI Yang. Field observation and 3D finite element numerical simulation analysis of effect on adjacent pile due to excavation [D]. Tianjin: Tianjin University, 2006. (in Chinese))

《南水北调与水利科技》编辑部郑重声明

《南水北调与水利科技》自创刊以来,从未委托任何中介机构、网站及个人征稿,请广大读者、作者提高警惕,不要通过他人投稿,更不要向他人或不明机构缴纳任何费用。

编辑部投稿网址: www.nsbdkq.net, 电话: 0311- 85020535, 85020639, 85020512。

《南水北调与水利科技》编辑部