

大型商业综合体深基坑施工 数值模拟分析研究

李军平

(中国核工业华兴建设有限公司, 江苏 南京 210019)

摘要 本文以某大型商业综合体深基坑工程为研究对象。该工程深基坑开挖面积较大、深度较深, 并且周边环境较复杂, 支护安全等级为一级。基坑西北角区域为代表性的基坑单元, 采用 MIDAS/GTS 软件, 基于莫尔-库伦模型完成建模与网格划分, 确定土体及支护结构相关参数, 将开挖过程分为五种工况开展数值模拟。分析各工况下地连墙位移、内力及周边土体沉降规律, 发现地连墙位移和弯矩随开挖深度增大而增加, 最大位移与弯矩点逐步下移, 支撑梁可有效约束墙体变形。本文通过数值模拟揭示了复杂环境下深基坑开挖的力学演化规律, 以期同类工程的支护设计与施工提供技术参考。

关键词 商业综合体; 深基坑; 数值模拟

中图分类号: TU47; TP3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.12.017

0 引言

商业综合体大都建设在城市核心地区, 周边建筑物密集、交通较复杂, 因此对项目的基坑支护安全的等级要求高。在开挖过程中, 由于土体卸载, 容易造成周边土体沉降、支护结构变形等问题。数值模拟技术可以有效帮助分析土体和支护结构的相互作用, 是沉基坑工程中重要的技术手段。本文通过 MIDAS/GTS 软件进行数值模拟, 分析不同开挖工况下支护结构的变形与内力特征, 为工程安全施工提供数据参考。

1 工程概况

某大型商业综合体项目, 工程基坑开挖面积约为 37 700 m², 周长约为 650 m, 基坑平面呈“刀把”形状, 南北向全长约 250 m, 东西向宽度约 150 m, 基坑开挖深度约为 18.6 ~ 20.4 m。本工程设防烈度为 7 度, 地基基础设计等级甲级, 基坑支护安全等级为一级。项目周边环境较为复杂, 项目北侧距在建项目地下室外墙最近约 4.2 m (共用临时施工围墙), 距离地铁车站最近约 19.8 m。东侧距离地铁区间距离最近约 13.2 m; 西侧商业区道路距离地下室外墙最近约为 6.5 m; 南临住宅楼, 距地下室外墙最近仅为 7.4 m。

2 深基坑数值模拟分析研究

在深基坑施工过程中, 基坑土方开挖卸载, 支护结构与周边土体形成新的应力平衡状态, 应力发生重

分布, 基坑支护将发生一定范围的变形, 当支护结构超荷, 会引起支护破坏造成基坑变形甚至造成基坑坍塌, 造成损失, 因此在基坑开挖前, 有必要通过计算和数值模拟手段, 掌握基坑开挖过程中的薄弱部位和薄弱环节, 并加以控制, 从而保证基坑工程的安全有序进行^[1]。在本项目中, 采用了 MIDAS/GTS 岩土工程有限元分析软件, 通过计算机对深基坑进行了可视化建模与数值模拟分析, 利用模型信息及有限元分析结果, 有效对施工过程安全性进行验算。

2.1 数值模拟单元的选取

因本项目深基坑规模较大, 为了分析过程的数值简化, 在进行数值模拟分析时, 选取基坑有代表性的一部分基坑单元的方式进行模拟分析, 根据基坑的实际情况, 选择截取了基坑西北角区域具有一定的代表性的基坑单元, 所截取部分基坑单元南北方向长度宽度为 64 m, 东西方向长度为 84 m, 北侧为弧形道路, 开挖深度 19.5 m。

2.2 基坑假设

由于基坑开挖面积大、开挖深度大, 划分的单元多且复杂, 为简化分析过程, 采用莫尔-库伦模型在对基坑单元进行数值模拟时, 基于以下假设进行: (1) 假设基坑四周土层分布均匀, 所选取基坑单元受到的土体作用代表整个基坑效应; (2) 假设地下连续墙的

作者简介: 李军平 (1975-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 建筑工程。

深度、墙厚都相同,混凝土构件采用弹性模型;(3)将临近建筑物、构筑物、地下管网、支护结构及土体离散化,不考虑周边建筑及管网对支护结构的影响;(4)假定基坑内土体为排水状态,不考虑地下水对土体的耦合作用;(5)假定基坑周围的土体为实体,土体泊松比和弹性模量不发生改变,均为弹塑性材料,且各向同性。

2.3 基坑网格划分

数值模拟软件建模时,由于有限元体系由每个单元按变形协调条件相互作用组成,基坑边界条件对基坑产生一定的影响^[2],在通常情况下,基坑对土体影响范围约为基坑开挖深度数值的3~5倍,因此本次建模选取土层深度为51 m,基坑平面影响边界取基坑周边向外延伸80 m,将东西方向设为X向、南北方向设为Y向、基坑深度方向为Z向,基坑内网格边长按照8 m进行划分,基坑外网格边长按照12 m进行划分,共生成61 498个单元。

2.4 基坑支护结构相关参数

2.4.1 土体参数

为了保证模拟的准确性,根据工程地质勘察报告的数据,基坑范围内各土层的主要参数如表1所示。

表1 各土层土体主要参数表

土层名称	容重 γ (kN/m^3)	粘聚力 C (kPa)	摩擦角 ϕ ($^\circ$)	弹性模量 E (kN/m^2)	泊松比 ν
素填土	18.1	10	15	6	0.3
粉质黏土1	17.4	11	14.1	10.8	0.3
粉质黏土2	18.9	20	18.1	16	0.3
粉土	18.6	10	24.2	25	0.3
粉砂加粉土	18.7	9	24.1	27	0.25
粉土夹粉质黏土1	18.2	14	24.4	18	0.25
粉土夹粉质黏土2	19.5	17	22.7	25	0.25
含砾粉砂	24	0	35	80	0.25
强风化泥质砂岩	25	20	37	100	0.25
中风化泥质砂岩	25	450	40	100	0.2

2.4.2 支护参数

基坑支护结构混凝土强度等级为C35,地下连续墙、

支撑梁、圈梁、立柱等基坑支护结构构件相关参数见表2。

表2 基坑支护结构构件相关参数表

材料名称	模型类型	材料类型	单元类型	截面尺寸 (mm)
地下连续墙			板单元	800
支撑梁	弹性	结构	梁单元	800×800
圈梁			梁单元	800×800
立柱			梁单元	1 100

将基坑支护结构的圈梁、支撑梁均视为一维杆,根据前述的模型定义,支护结构均采用弹性材料模型来考虑,基坑支护结构相关构件材料参数见表3。

表3 基坑支护结构相关构件材料参数表

材料名称	容重 γ (kN/m^3)	弹性模量 E (kN/m^2)	泊松比
地下连续墙	25.0	2.0×10^6	0.3
混凝土内支撑	25.0	2.4×10^6	0.2
圈梁	25.0	2.4×10^6	0.2
立柱	25.0	2.4×10^6	0.2

2.5 基坑开挖过程模拟

数值模拟过程采用MIDAS/GTS软件进行计算分析,将基坑开挖施工过程分为以下5种工况,基坑施工各工况条件见表4。

表4 基坑施工各工况条件表

工况	坑内土方开挖标高	支撑状态描述	备注
工况 I	-2.70 m	第一道混凝土支撑梁及栈桥施工完成	/
工况 II	-8.65 m	第二道混凝土支撑梁施工完成	/
工况 III	-12.75 m	第三道混凝土支撑梁施工完成	/
工况 IV	-16.45 m	第四道混凝土支撑梁施工完成	/
工况 V	-19.50 m	开挖至基底	底板施工

土方开挖前初始状态,基坑周土体处于静态平衡状态,坑周土体位移为零,此时各层土体主要承受土体自重所形成的荷载。由于基坑土方开挖卸载影响,在地下连续墙及混凝土支撑的作用下,支护结构受力

形成新的应力平衡状态,土体应力释放并重分布。

地连墙变形与基坑开挖深度、地连墙强度及刚度等因素相关联,随着土体的不断卸载,坑周土体在侧向土压力的作用下产生应力变化^[3]。土体卸载与各层支撑的增加相互制约,使周围侧向土压力和支护作用力相互抵消,达到动态平衡状态,同时地连墙在动态受土体的侧向压力作用下,X和Y方向均出现位移。

2.6 不同工况间模拟结果分析

随着基坑开挖地连墙受到的土压力增加在X和Y方向位移有逐渐变大的趋势,地连墙最大位移部位出现在地连墙中部,在支撑梁作用下抵消了部分侧向土压力,对减少地连墙变形起到了良好的作用,云图反应的现象与地连墙实际受力变形规律一致。

2.6.1 地连墙墙体位移分析

地连墙在背面土体侧向压力作用下出现变形,若变形过大超过一定的范围,可能会发生整体失稳或支护结构破坏,导致安全事故发生,因此,对各工况条件下地连墙进行变形分析对深基坑支护变形研究有着极为重要的意义。

通过对五种工况阶段的地连墙支护内力及位移图的情况进行汇总:(1)工况I时,由于开挖深度尚浅,地连墙受到的侧压力也很小,地连墙的变形较小,最大位移为2.71 mm,出现在地连墙顶部;(2)工况II时,基坑开挖到-8.65 m,随着开挖深度加大,地连墙受到的侧向土压力也在增加,由于第一道支撑梁约束作用,使得地连墙位移依然较小,最大位移为3.74 mm,仍然在地连墙顶部;(3)工况III时,基坑开挖深度到-12.75 m,由于第一道和第二道内支撑梁的约束,地连墙最大位移部位发生改变,由墙顶向下偏移,最大位移量增加到7.09 mm;(4)工况IV时,基坑开挖深度到-16.45 m,随着开挖深度增加地连墙侧向压力明显大幅增大,第一至三道支撑梁完全发挥作用,但由于地连墙侧压力增幅较大,地连墙位移也大幅增加,并且位移拐点下移,最大位移发生在地连墙-15 m标高左右,最大位移值30.5 mm;(5)工况V时,基坑开挖到底部,四道支撑梁全部发挥作用,最大位移仍发生在地连墙中部,最大位移值达到36.77 mm,地连墙的位移值与土压力情况基本一致。

分析发现,随着基坑开挖深度增大,地下连续墙位移不断增大,位移曲线最大值发生点向下移动,地连墙的墙顶位移变化较小,开挖到基坑底部时,由于坑周土体沉降等共同作用,墙顶出现向基坑外侧的反向位移。

2.6.2 地连墙墙体内力分析

在基坑开挖过程中,各工况下地下连续墙墙身受到弯矩。工况I至工况III条件下,地连墙弯矩值很小,随着基坑深度加深弯矩逐步增加,地连墙上最大弯矩发生点随着深度的增加在向下移动,其趋势与位移图变化趋势基本相同。当基坑土方开挖到坑底时,地连墙弯矩出现两次反弯点,其部位与地连墙的墙体位移最大位置相吻合。在第四到第五道支撑梁位置,由于支撑梁作用抵消了地连墙所受的部分侧向土压力,使地连墙墙体承受的弯矩相应减少。

2.6.3 基坑周边土体的沉降分析

在开挖过程中,由于基坑产生向内的位移,土体随着支护结构位移位置方向移动,基坑周围土体会产生沉降,最大沉降的部位一般为基坑边长的中点附近^[4]。

在MIDAS/GTS软件中,根据节点单元大小划分的不同,所呈现的细致程度也有所不同,一般呈现线性关系。通过数据分析,随着距离基坑边缘距离变化,越远点沉降数值递减,当距离足够远时沉降值趋近于零,其中支护结构约束支护变形对沉降起到了关键性的作用^[5]。

3 结束语

本文通过MIDAS/GTS建模进行数值模拟分析,通过截取典型区域作为分析对象,模拟划分网格,利用软件建立三维模型,利用模型进行开挖过程基坑不同工况条件下的模拟,并通过模拟结果对支护结构位移、内力进行分析,最终得出随基坑土方开挖深度增加、支护地连墙结构弯矩增加的趋势、最大弯矩的发生点规律,从而分析处支护中地连墙与支撑梁相互作用的程度,从基坑安全的角度起到控制效果,同时也对基坑中各部分结构的经济合理性起到参考作用。

参考文献:

- [1] 林华明,张盛滨,吴林涛,等.软土地区地铁工程深基坑降水施工数值模拟分析[J].河南科技,2025,52(06):66-70.
- [2] 杨少飞,刘保平,杨雷,等.董志塬黄土深基坑复合土钉墙变形监测与数值分析[J].水利与建筑工程学报,2025,23(06):184-191.
- [3] 曹宇飞.咬合桩支护基坑对邻近地铁隧道的变形影响实测与数值模拟[J].工程技术研究,2025,10(22):17-19.
- [4] 王路乾,李小争.复杂环境下深基坑支护方案设计与数值模拟验证[J].四川水泥,2025(11):25-27.
- [5] 马利锋.深基坑开挖方式优化数值模拟研究[J].江西建材,2025(10):349-351.