

某深基坑支护监测与数值模拟研究

秦浩健

华北水利水电大学地球科学与工程学院, 河南 郑州

收稿日期: 2025年7月15日; 录用日期: 2025年8月5日; 发布日期: 2025年8月18日

摘要

在基坑施工过程中, 围护结构的变形监测对确保施工安全和保护周边环境具有重要意义。郑州中心城区某深基坑为研究对象, 结合当地地质和发展情况, 对围护结构的变形和周围建筑物的沉降进行监测和分析。同时运用有限元软件Midas GTS/NX进行数值模拟, 对不同开挖工况进行分析, 并与多项监测数据进行对比。研究表明, 通过对比模拟值和实测值监测结果和模拟结果均未超过规范允许值且在变化规律上基本保持一致。深层水平位移曲线呈现为明显的“头大脚小”的形状, 为类似条件的基坑工程积累了宝贵的经验。

关键词

基坑, 支护结构, 监测, 数值模拟

Research on Monitoring and Numerical Simulation of Deep Foundation Pit Support

Haojian Qin

School of Earth Science and Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

Received: Jul. 15th, 2025; accepted: Aug. 5th, 2025; published: Aug. 18th, 2025

Abstract

During the foundation pit construction process, the deformation monitoring of the retaining structure is of great significance for ensuring construction safety and protecting the surrounding environment. A certain deep foundation pit in the central urban area of Zhengzhou was taken as the research object. Combined with the local geology and development conditions, the deformation of the retaining structure and the settlement of the surrounding buildings were monitored and analyzed. Meanwhile, the finite element software Midas GTS/NX was used for numerical simulation to

analyze different excavation conditions and compare them with multiple monitoring data. Studies show that by comparing the simulated values with the measured values, both the monitoring results and the simulated results have not exceeded the allowable values specified in the norms and are basically consistent in the variation patterns. The deep horizontal displacement curve presents a distinct shape of “head large foot small”, which has accumulated valuable experience for foundation pit projects under similar conditions.

Keywords

Foundation Pit, Supporting Structure, Monitor, Numerical Simulation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国城市化建设的发展，土地资源日趋紧张使充分开发利用地下空间成为城市化建设的目标之一[1]。当前，地下空间工程向着规模大、开挖深度大、地质条件复杂的方向发展[2]，但同时易引起基坑结构发生变形，引发安全事故。深基坑安全事故不仅包括基坑本身的支护结构破坏、变形失稳、坍塌、人员伤亡等直接事故，还包括其影响范围内所发生的邻近建筑物开裂倾斜、公用市政房屋破坏等间接的意外事故[3]。对于深基坑工程开挖过程的稳定性及支护结构的变形规律，许多学者进行了分析研究[4]-[7]。以郑州中心城区某深基坑工程为背景，使用 Midas GTS/NX 有限元软件进行了数值模拟，对不同开挖工况进行计算分析，并通过将数值结果与现场实测数据进行对比验证，揭示了该区域地质条件下基坑支护体系的变形特征，研究成果为同类型的深基坑设计与施工提供了重要参考依据。

2. 工程背景

2.1. 工程简介

本工程位于郑州市惠济区城区。场地内拟建 8 栋高层建筑物、1 栋幼儿园，3 栋配套用房及大面积地下车库。地下车库采取框架结构，地下 2 层基础埋深绝对标高 83.24/83.44 m，本场地相对标高±0.00 相当于绝对标高 93.500，基坑开挖深度 9.0~10.9 m，基坑支护周长约 874 m。

2.2. 工程地质与水文地质条件

Table 1. Physical and mechanical parameters of each soil layer
表 1. 各土层物理力学参数表

序号	土层	天然重度/kN·m ⁻³	fak/Kpa	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	Es/Mpa
1	杂填土	18.0	80	5.0	10.0	/
2	粉土-1	19	140	11.0	17.0	9.5
3	粉土夹粉粘	18.9	105	12.0	19.0	5.6
4	粉土-2	19	160	14.0	23.0	11.4
5	粉粘夹粉土	18.9	120	21.0	12.0	4.6
6	细砂	19.0	210	3.0	29.0	18.5

根据勘察报告结果分析,勘察期间稳定水位高程为 77.80 m,现地表以下 15.00 m 左右,地下水位多年变幅在 2.0 m~3.0 m。根据郑州市的长期水文观测资料,该场地近 3~5 年郑州市地下水位变化不大,根据本场地基坑开挖深度,不需要人工降低地下水。具体土层物理参数如表 1 所示。

3. 基坑支护设计及监测方案

3.1. 基坑支护设计

针对场地地段地层、环境条件以及基坑开挖深度,结合有关规范标准前提下,本工程基坑支护型式采用复合土钉墙支护型式,如图 1 所示。

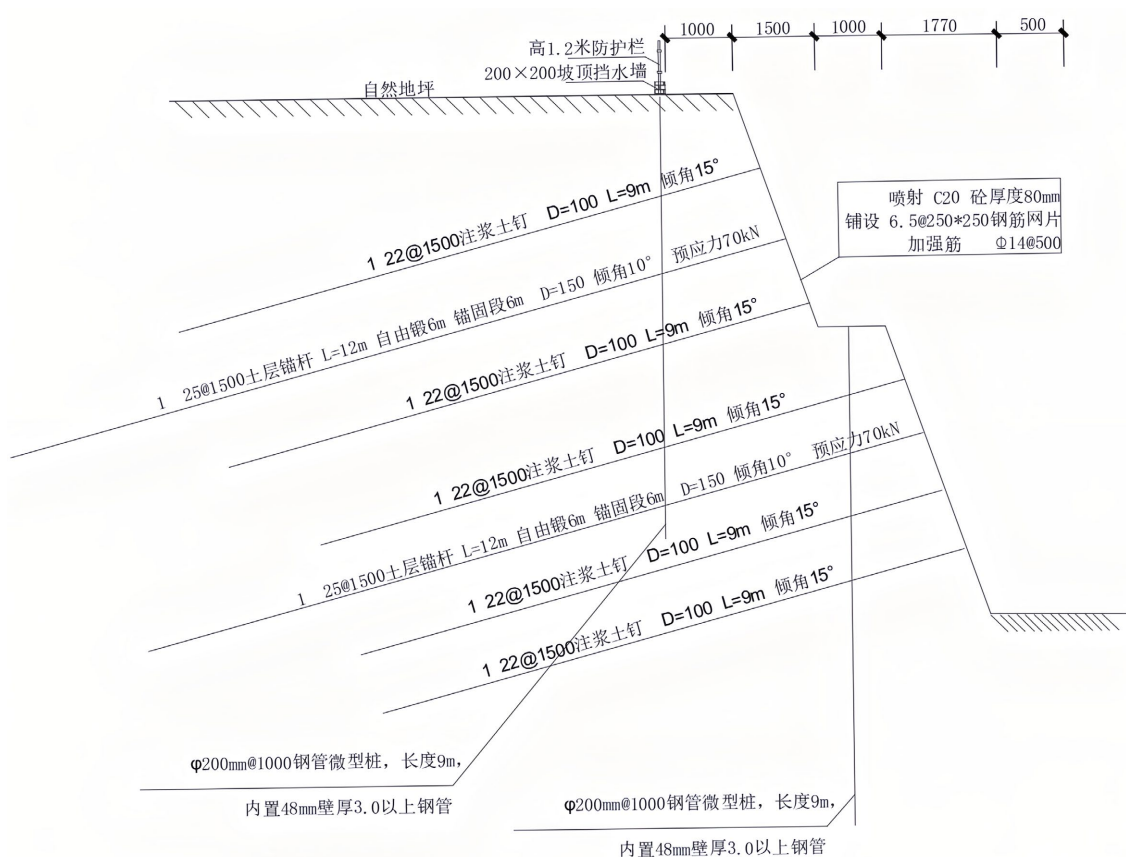


Figure 1. Section support structure design drawing

图 1. 剖面支护结构设计图

3.2. 监测方案

(1) 监测控制网布设

根据《建筑基坑工程监测技术规范》(GB 50497-2019)规定[8],基坑开挖深度大于等于 5 m 或小于 5 m,但地质情况和周围环境复杂,以及需要监测的基坑工程都应进行基坑监测。本工程设计开挖深度为 9.9 m,为掌握工程施工时的安全状态,保证基坑支护体系的稳定性,因此对基坑实时监测是保证工程顺利进行施工的必要措施。需要进行的监测项目包括水平位移监测、竖向位移监测、深层水平位移监测,监测点位如图 2 所示。

① 基坑坡顶水平位移和竖向位移监测在基坑四侧总计布置 47 个监测点,编号为 S1~S47。

② 坡体深层水平位移监测共 10 个测斜管，在基坑东西面各布置 2 个测斜管，南北面布置各 3 个测斜管，编号为 CX1~CX10。

③ 建筑物沉降监测共 23 个，监测点在基坑南面的小学和超市附近一共布置 17 个沉降观测点，在基坑的西侧建筑物布置 6 个沉降观测点，编号为 C1~C23。

(2) 基坑监测预警

基坑监测预警主要包括以下几方面：基坑监测报警值为：

- ① 基坑坡顶水平位移：累计 50 mm，变化速率大于 2 mm/d；土钉支护坡顶竖向位移累计 20 mm，变化速率大于 3 mm/d。当监测值变化速率连续 3 天超过报警值的 50%，应报警。
- ② 深层水平位移：累计值绝对值超过 45 mm 和 0.4%H(基坑开挖深度)中的较小值；变化速率大于 2 mm/d。
- ③ 建筑物沉降：累计值绝对值为 10 mm；变化速率大于 1 mm/d，倾斜度 2/1000 或者倾斜速度连续 3 天大于 0.0001 H/d。

当出现上列情况之一时，应立即停止施工，并对基坑支护结构和周边保护对象采取应急措施[8]。

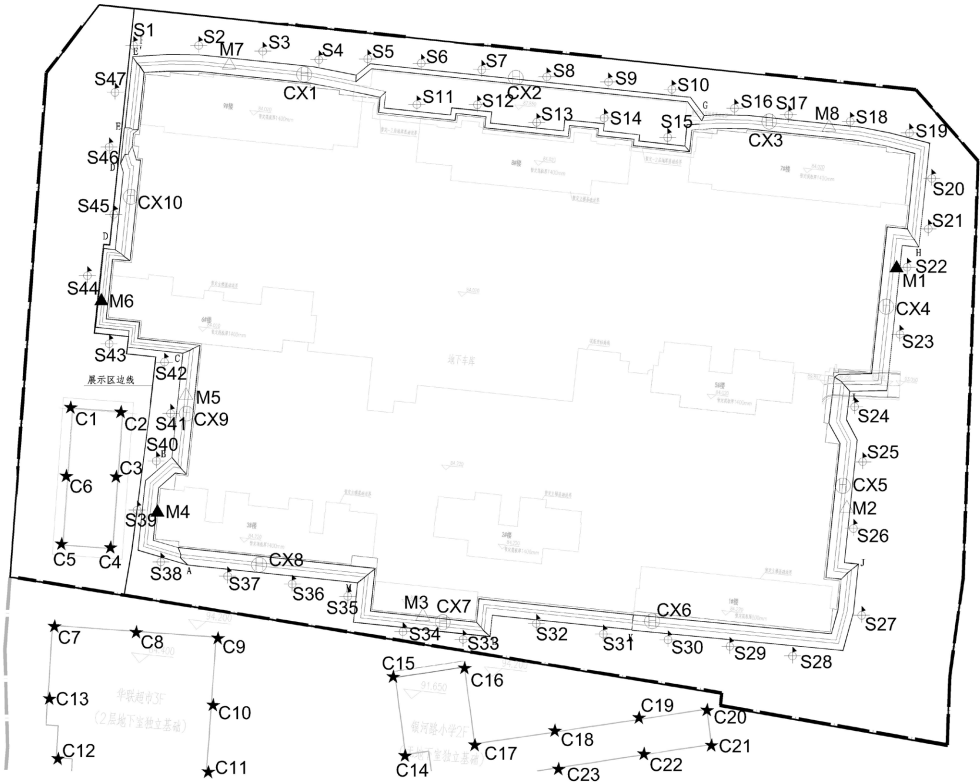


Figure 2. Layout plan for foundation pit monitoring
图 2. 基坑监测平面布置图

4. 监测结果分析

4.1. 坡顶水平位移和竖向位移分析

从图 3 和图 4 可以明显看出，S31 是基坑坡顶水平位移和竖向位移变化最大的监测点，分布于基坑南侧东段临某楼，其值分别为 4.9 mm、4.09 mm。现场基坑变形处于安全范围以内，符合国家规范要求。

且水平和竖向位移都随着时间的增长而增长。在最开始的几个月里，水平位移和竖向位移随着时间的增加，发生较快的沉降，但随着工程的进展开始趋于稳定。众多资料也表明，支护结构的较大变形一般情况下都发生在底板浇筑之前，在底板浇筑完成后的一段时间内土体的变形趋于稳定[9]。

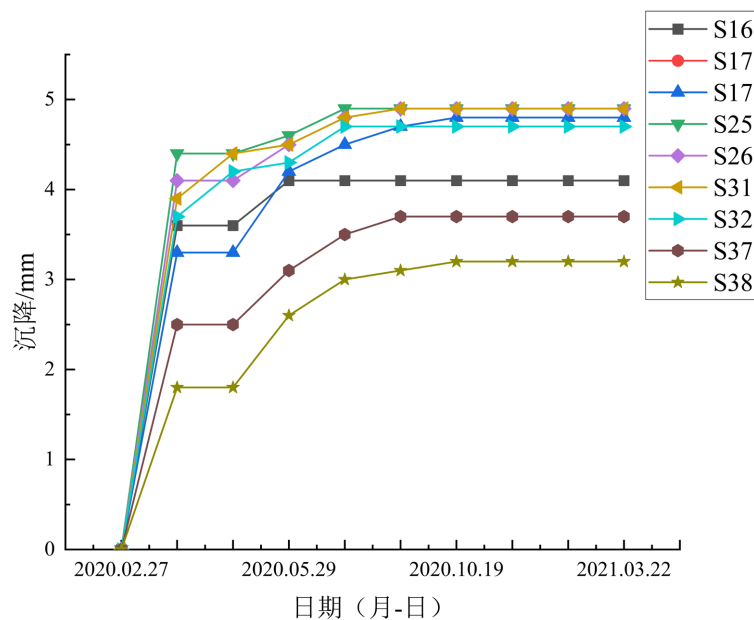


Figure 3. Curve graph of horizontal displacement variation at the top of the slope
图 3. 坡顶水平位移变化曲线图

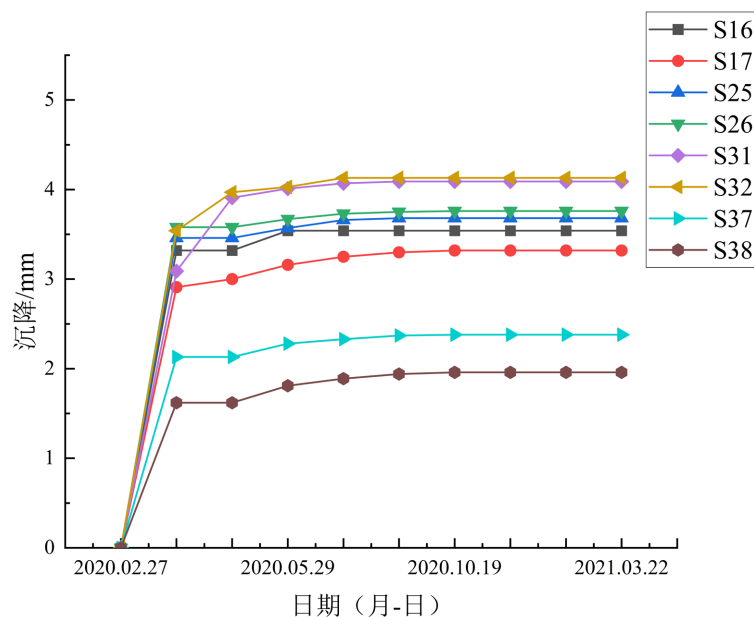


Figure 4. Shows the vertical displacement variation curve at the top of the slope
图 4. 坡顶竖向位移变化曲线图

4.2. 深层水平位移分析

深层水平位移可以直观的反映出支护结构的位移状态。本文对基坑 2#测斜孔监测结果进行分析，如

图 5 所示。深层水平累计位移最大值为 5.35 mm。基坑在开挖初期变化小,但随着时间的变化,在 2020 年 5 月 19 到 5 月 25 之间,深层水平位移由 1.2 mm 突增为 2.2 mm,此后随着工况施工的进行,深层水平位移也随之增大。在当施工单位在采取加固支撑措施设置冠梁后位移量逐渐降低。因此,基坑开挖应考虑主要特点为选择合理可靠施工工序。

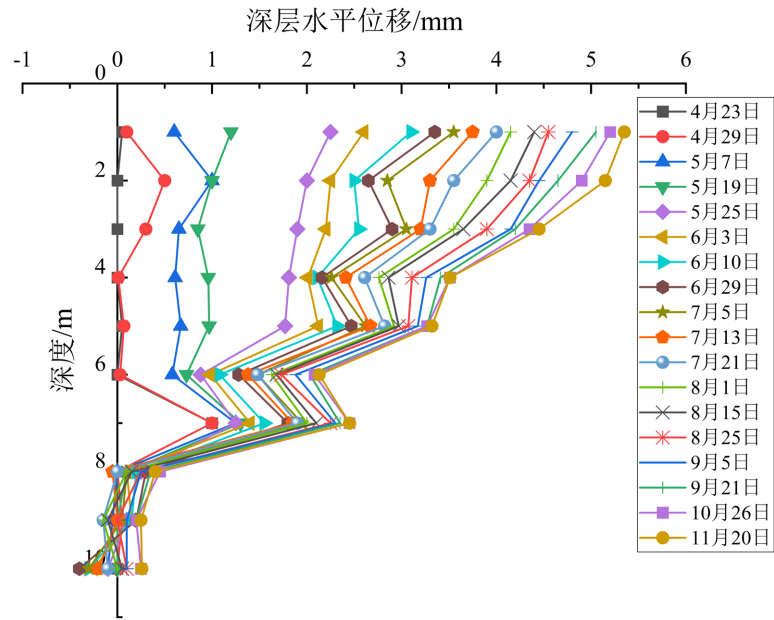


Figure 5. Shows the deep horizontal displacement-time curve of the No. 2 inclinometer tube
图 5. 2#测斜管深层水平位移 - 时间曲线

4.3. 建筑物沉降分析

从图 6 看,最大值位于 C5、C19、C22 处 0.02 mm。属于基坑南侧建筑监测点,远小于规范规定的沉降累计报警值 10 mm,这说明该工程基坑施工对建筑物的影响十分微弱。

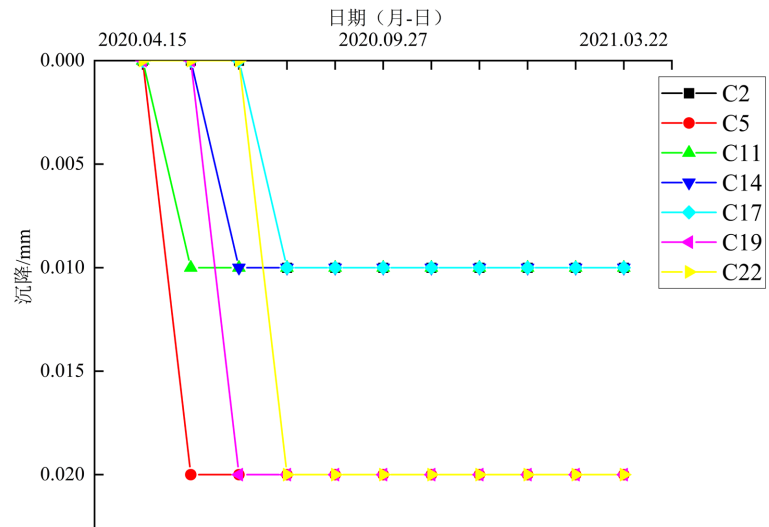


Figure 6. Shows the results of building settlement monitoring
图 6. 建筑物沉降监测成果图

5. 数值模拟

5.1. 模型建立

对郑州某基坑支护项目采用 Midas GTS NX 有限元软件进行模拟，基坑建模如图 7 所选取 3-3 剖面周围局部土体建立模型。模型长 30 m (x 轴方向)，其中开挖部分长度是 15 m，模型高 20 m (y 轴方向)，开挖部分高度是 9.9 m。土体均为各向同性、均质连续的材料，土体变化遵循修正摩尔 - 库仑屈服准则，基坑采用微型桩加锚杆和土钉支护。计算模型中所需参数如表 1 所示。

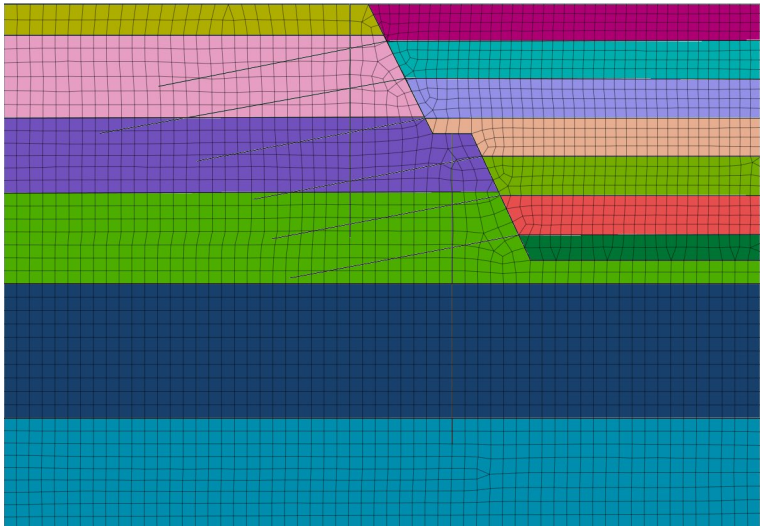


Figure 7. Foundation pit model diagram
图 7. 基坑模型图

5.2. 基坑数值模拟工况划分

根据基坑开挖步骤定义施工阶段如表 2。

Table 2. Division of construction steps
表 2. 施工步骤划分

工况	累计开挖深度(m)	施工内容
/	0	激活土体网格约束和重力，进行初始应力平衡
1	1.4	打入微型桩，开挖 1.4 m，打入第一排土钉，喷射混凝土面层
2	2.9	开挖 1.5 m，设置腰梁，打入第一排预应力锚杆，喷射混凝土面层
3	4.4	开挖 1.5 m，打入第二排土钉，喷射混凝土面层
4	5.9	开挖 1.5 m，打入第三排土钉，喷射混凝土面层，在开挖 5 m 处打入第二个微型桩
5	7.4	开挖 1.5 m，打入第四排土钉，喷射混凝土面层
6	8.9	开挖 1.5 m，打入第五排土钉，喷射混凝土面层
7	9.9	开挖 1 m，喷射混凝土面层

5.3. 数值模拟与监测结果对比分析

(1) 水平位移对比分析和竖向位移对比分析

如图 8 和图 9 给出了水平位移和竖向位移模拟值与实测值对比结果，模拟曲线和实测值曲线大致呈

线性分布，且模拟结果与监测结果数值相近，但在工程中后期，模拟值依旧有小幅度上升。这可能是由于在数值模拟过程中对土层进行了相应简化，未考虑降雨和地下水对边坡的影响，不能准确反映真实情况。尽管如此，模拟结果所反映出的变化规律仍具有十分重要的参考意义，监测结果和模拟结果均未超过规范允许值。

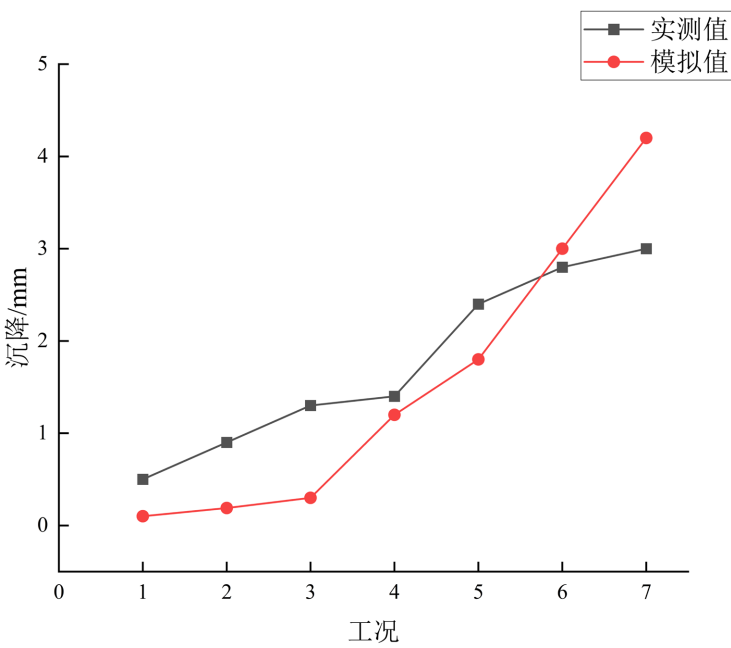


Figure 8. Shows the comparison curve between the simulated value and the measured value of the horizontal displacement at the top of the slope
图 8. 坡顶水平位移模拟值与实测值对比曲线图

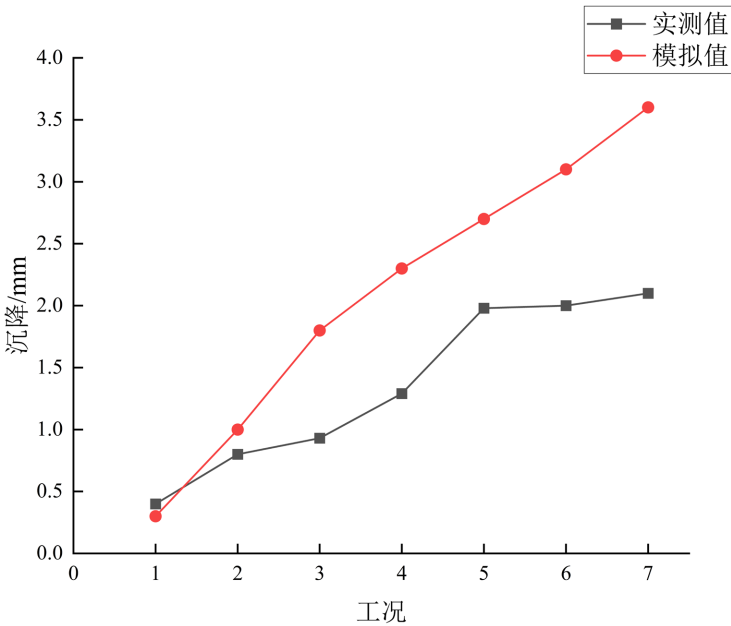


Figure 9. Shows the comparison curve between the simulated and measured values of the vertical displacement at the top of the slope
图 9. 坡顶竖向位移模拟值与实测值对比曲线图

(2) 深层水平位移对比分析

深层水平位移监测对基坑施工的安全起着至关重要的作用，它直接反映了围护桩的变形和位移。从图 10 中可以看出，模拟结果对比实际监测结果来说相对较小，但总的来说，基坑数值模拟结果与现场实际测量值吻合度较好，都是随着深度的增加，水平位移逐步变小，曲线呈现为明显的“头大脚小”的形状。

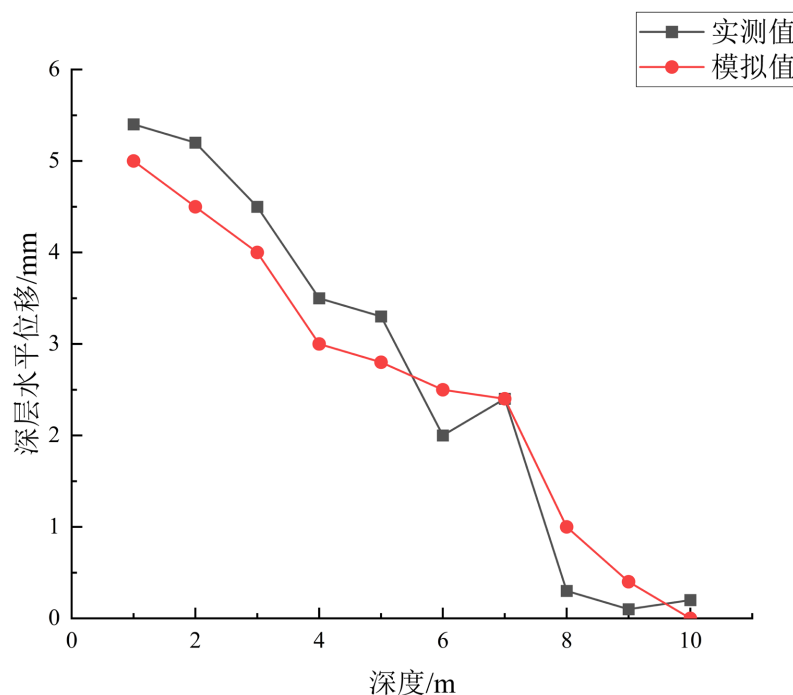


Figure 10. Shows the comparison curve between the simulated and measured values of deep horizontal displacement

图 10. 深层水平位移模拟值与实测值对比曲线图

6. 结论

本文以郑州市某深基坑工程为研究对象,对工程现场监测数据进行了分析,运用北京理正 7.0 和 Midas GTS NX 对实际工程展开分析,同时,运用 Midas GTS NX 对实际工程展开模拟,并将模拟结果与现场实测结果进行对比和分析,水平位移和竖向位移模拟值与实测值对比大致呈线性分布,但在工程中后期,模拟值依旧有小幅上升。这说明运用数值模拟的方法可在一定程度上模拟实际工程支护结构的变形趋势,在实际工程中可以起到指导设计、施工的作用,但在参数的选择和模型的简化上还需进一步探明。尽管如此,模拟结果所反映出的变化规律仍具有十分重要的参考意义,深层水平位移模拟值变化规律和实测值基本一致,深层水平位移曲线呈现为明显的“头大脚小”的形状。

参考文献

- [1] 刘国斌, 王国卫. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 徐杨青, 程琳. 基坑监测数据分析处理及预测预警系统研究[J]. 岩土工程学报, 2014(1): 219-224.
- [3] 王树和, 郑政, 张举兵, 等. 土钉墙支护基坑对邻近地下管线的影响[J]. 水利与建筑工程学报, 2015(6): 19-24.
- [4] 王琳, 罗志华, 张晗. 地铁车站深基坑开挖对邻近建筑物影响的三维有限元分析[J]. 建筑结构, 2021, 51(S1): 1928-1934.

- [5] 许正松, 姜小红, 路威, 等. 南水北调某泵站深基坑开挖对邻近建筑物影响研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2021, 19(6): 82-87.
- [6] 吴昕. 基坑开挖中支护位移对周边建筑物的影响预测分析[J]. 中国水运(下半月), 2021, 21(11): 146-147.
- [7] 汪大龙. 基坑开挖对周围环境影响的有限元分析[J]. 工程勘察, 2010(S1): 427-433.
- [8] 聂建伟. 深基坑变形监测与规律分析[J]. 智能城市, 2021, 7(5): 145-146.
- [9] 吕林, 李玉成. 溃坝流动的有限元数值模拟[J]. 中国造船, 2005, 46(11): 246-252.