

文章编号:1671-6833(2012)06-0107-05

微型桩-锚杆-土钉复合支护结构相互作用分析

闫富有¹, 高伟¹, 周同和², 郭院成¹

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

摘要:结合郑州一基坑工程项目,应用分布式光纤传感技术对土钉和锚杆的轴力进行监测,根据实测数据分析土钉和锚杆轴力随基坑开挖而变化的规律.运用FLAC3D软件建立两种复合土钉支护结构的三维模型,进行开挖支护施工过程的三维动态模拟分析,并通过两种模型的对比分析得出微型桩在复合土钉支护结构中的作用.最后把数值分析结果与现场实测结果相比较.结果表明,这种复合支护结构可以充分发挥锚杆的锚固作用.微型桩能有效控制基坑的稳定性与变形,并能改善土钉和锚杆受力状态.基坑侧壁水平位移最大处几乎与微型桩最大正弯矩处相重合,最大负弯矩处近似在基坑边坡坡脚处.

关键词:基坑支护;微型桩;复合支护结构;现场实测;数值模拟

中图分类号: TU459

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.06.026

0 引言

微型桩的直径一般小于400 mm,采用钻孔、强配筋和压力注浆施工,具有施工面积小、有效降低噪音和施工方便等特点.在深基坑工程中,将微型桩与锚杆-土钉复合支护结构联合使用,既利用了微型桩造价低廉、对土层适应性好等特点,又弥补了一般锚杆-土钉复合支护结构的许多缺陷和使用上的限制^[1],在深基坑工程中已逐渐得到应用^[2-4].

文献[5]在进行土钉轴力和边坡位移测试的基础上,对土钉支护结构进行了三维数值模拟.文献[6]讨论了桩锚与土钉联合作用问题,表明其作用机理和设计方法等有待进一步研究.文献[7-9]应用FLAC分析了土钉支护结构位移场的变化规律.文献[10]结合现场试验研究和数值模拟,研究了单排小桩复合水泥土桩墙支护结构基于整体计算模式的设计计算方法.文献[11]采用单宽模型,对土钉-微型桩-预应力锚杆支护体系进行了模拟分析.

微型桩复合土钉支护结构是典型的三维问题.将其简化为平面问题,无法反映支撑轴力和基坑位移的实际情况.目前对设置有微型桩的复合土钉墙支护形式的研究较少,缺乏系统的工程监

测与模拟计算对比分析.由于工程地质条件以及支护结构的复杂性,将现场监测与数值分析方法相结合,是研究本类问题的有效方法.

本文结合郑州某基坑工程,在现场原位测试的基础上,对微型桩-锚杆-土钉支护结构进行数值模拟分析,研究其受力变形特征及其相互作用,为该复合支护结构的设计与施工提供技术指导.

1 工程概况

郑州某医院病房楼基坑工程,开挖面积近6 000 m²,基坑深度9.4 m,一侧采用微型桩-锚杆-土钉墙复合支护结构.

基坑以1:0.15的坡度倾斜开挖.土钉倾角为5°,其中1~3层土钉长度为10 m,4~6层土钉长度为9 m.锚杆倾角为10°,长度为15 m,分别与第二、四排土钉沿纵、竖向交错布置.前五排土钉、锚杆的水平 and 垂直间距均为1.5 m,最后一排土钉的竖直距离为1 m.土钉采用直径为18 mm的螺纹钢,钻孔直径120 mm;锚杆采用公称直径为15.2 mm七丝绞合的钢绞线,预应力100 kN,钻孔直径150 mm;微型桩水平方向的间距为1 m,桩长14 m,桩径150 mm.设计支护断面如图1所示.

收稿日期:2012-07-01;修订日期:2012-08-20

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(102300410002);郑州市重点科技攻关项目(0910SGYG25229-1).

作者简介:闫富有(1963-),男,河南许昌人,郑州大学副教授,主要从事岩土力学与工程方面的研究,E-mail:yfy@

zzu.edu.cn

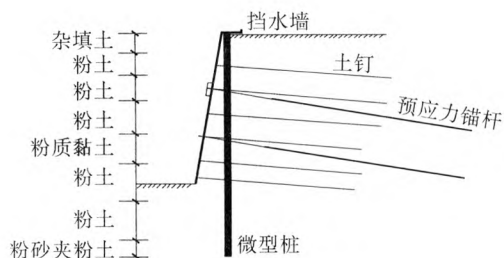


图1 基坑支护剖面

Fig.1 Section of foundation pit

2 现场原位测试分析

2.1 试验描述

采用分布式光纤应变传感技术(DSTS)对土钉与锚杆的轴力进行监测.选择基坑一侧靠近中部且相距6m的二个断面进行测试,分别记为a和b断面,由于基坑顶部无多余荷载,其受力相关性可以忽略,并能排除其他受力影响因素,以达到数据对比和补充的作用.

2.2 土钉轴力实测分析

基坑开挖完成后,b测量断面各层土钉的轴力实测结果如图2所示.

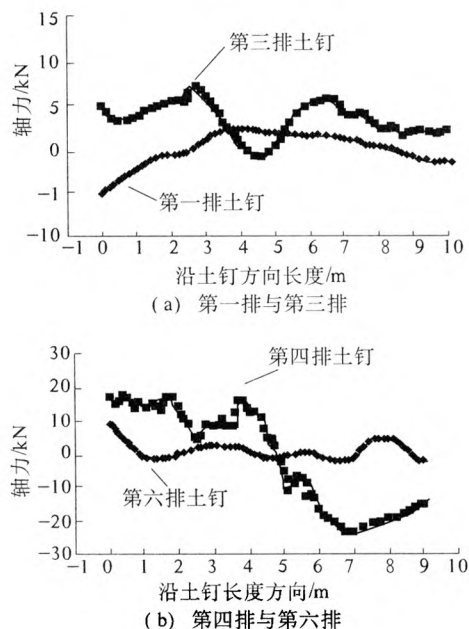


图2 实测土钉轴力图

Fig.2 Testing force of the soil nail

对比四层土钉轴力的分布可知,各层土钉最大轴力点的位置由上至下逐步向土钉在面层方向的端部移动.第四排土钉轴力最大值是所有四排土钉所受轴力的最大值;第六排土钉中部受力很小,其最大轴力点的位置靠近基坑面层.由于在第四排土钉深度处的土体向坑内变形的趋势较大,

故在基坑开挖过程中应严密监控该部位土体的水平位移.

2.3 不同工况土钉轴力实测分析

对b断面第一排土钉在不同工况下所受轴力进行分析.工况1至工况4分别为:第二排锚杆张拉完毕、第四层土方开挖完毕、第五层土方开挖并已布入土钉、第六层土方开挖完毕并布入土钉.不同工况下土钉的轴力分布如图3所示.

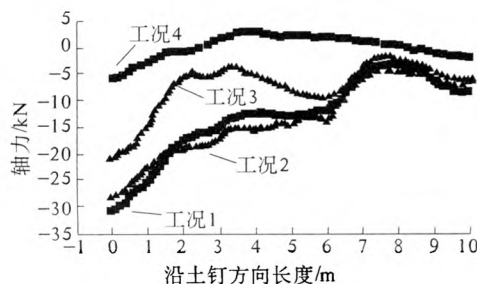


图3 不同工况下土钉实测轴力图

Fig.3 Testing force of the soil nail in different conditions

对比图3中的四个工况可以看出,随着基坑开挖,第一排土钉整体受力呈增加趋势.前三个工况第一排土钉主要受压力作用,这是由于在第二排与第四排锚杆施加预应力后,土体将来自锚杆的压力传递给土钉,使土钉受压,其压力大小沿土钉长度方向呈减小趋势,在末端接近于0,其轴力沿土钉长度方向呈两边大中间小的分布.

从整体来看,第一排土钉在基坑开挖过程中主要受压力作用.说明在两排锚杆的作用下,土钉没有完全发挥出抗拉效果.

2.4 不同断面土钉轴力对比分析

基坑开挖完成后,断面a和b第一排、第四排和第六排土钉的轴力分布对比如图4所示.

由图4可知,在支护形式完全一样的情况下,两个断面的第一排第三排的土钉轴力有明显差异.其原因主要有两点:①基坑顶部超载不同,导致两个断面第一排土钉受力差别较大;②a断面第二排锚杆预应力损失较大,对上部土体的约束能力降低,导致第一排土钉受力较大.两个断面第六排土钉的轴力分布整体较为类似,基本分布于0点附近,说明这种断面中的第六排土钉几乎不受力.

3 数值分析

3.1 计算模型与参数

选取基坑的一段,利用FLAC3D软件进行计算.参考文献[7-8]中基坑开挖的影响范围,模型长度取坑内2倍、坑外3倍基坑深度,并考虑足

够的宽度和高度,其尺寸为 50 m × 15 m × 19.5 m. 边界条件与文献[7,9,12]相同. 土钉与锚杆、微型桩和腰梁分别采用 Cable、Pile 和 Beam 结构

单元^[7-9]. 由于假定模拟过程中不会出现结构单元与土体之间的相对滑动或分离,故所建模型不需要在土体和单元之间加入接触面^[5,7-9,11].

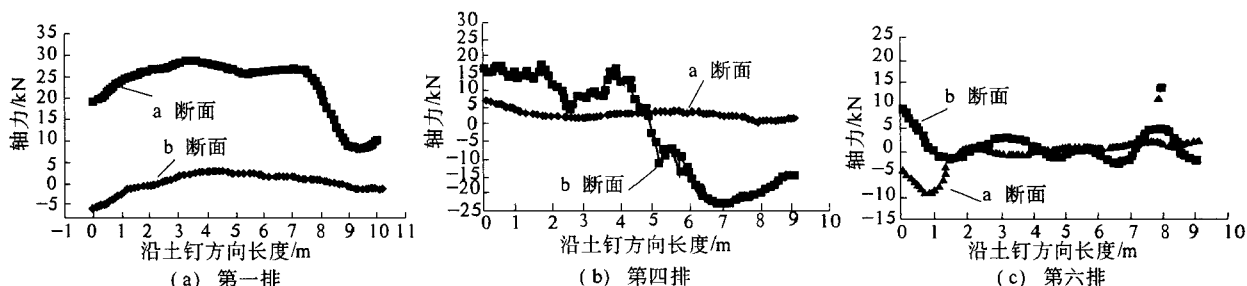


图4 不同断面处土钉实测轴力图

Fig.4 Testing force of soil nail in different section

土体的容重 γ 、黏聚力 c 、内摩擦角 φ 和变形模量 E_0 如表 1 所示. 其中变形模量 E_0 参考工程地质勘察报告的原位试验,取为压缩模量 E_c 的 4 倍.

土钉、锚杆和微型桩的结构单元参数见表 2. 土钉的弹性模量为 210 GPa,锚杆弹性模量取 205 GPa. 微型桩弹性模量为 210 GPa,泊松比取 0.2.

为了揭示微型桩在复合支护结构中的作用,建立两种分析模型:微型桩-锚杆-土钉墙支护结构 and 无微型桩的锚杆-土钉墙复合支护结构模型. 模拟过程与基坑施工过程一致,首先设置微型桩,然后每开挖一层即布入土钉或锚杆.

表1 土体物理力学参数表

Tab.1 Physico-mechanical parameters of model

编号	土层	平均厚度 /m	γ /(kN · m ⁻³)	c /kPa	φ /(°)	E_s /MPa	E_0 /MPa	泊松比
1	杂填土	1.24	1.8	10.0	16.0	8.00	32.00	0.2
2	粉土	1.41	1.8	14.3	21.7	11.13	44.52	0.3
3	粉土	1.58	1.85	21.0	18.0	8.70	34.80	0.3
4	粉土	2.05	1.92	15.0	26.6	8.76	35.04	0.3
5	粉质黏土	1.86	1.92	14.0	26.3	8.50	34.00	0.28
6	粉土	2.34	2.00	16.0	25.8	10.14	40.56	0.3
7	粉土	2.54	2.04	18.0	25.2	13.42	53.68	0.3
8	粉砂夹粉土	18.88	2.00	3.0	28.0	13.42	53.68	0.3

表2 结构单元参数表

Tab.2 Structure elements parameters of model

构件	粘结强度 (N · m ⁻¹)	轴向刚度 (N · m ⁻²)	粘结强度 (kN /m)	法向刚度 (kN /m ²)	切向刚度 (kN /m ²)
1~3 排土钉	5.5e5	6.8e5	—	—	—
4~6 排土钉	5.5e5	7.6e5	—	—	—
锚杆	5e6	6.5e5	—	—	—
桩	—	—	4e8	2e9	2e7

3.2 模拟与实测结果比较

为了验证模拟结果的合理性,将基坑开挖完成后土钉和锚杆实测轴力最大值(b断面)与模拟结果的轴力最大值进行比较,如图 5 所示.

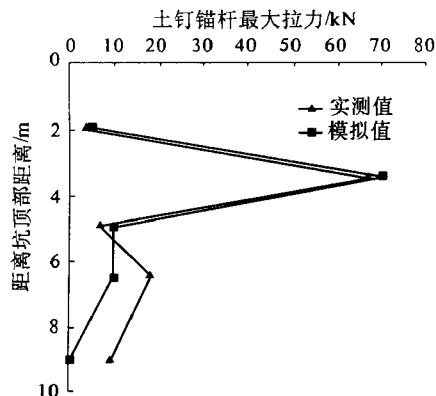


图5 土钉和锚杆最大轴力实测值与模拟结果比较

Fig.5 Comparison between the measured and simulated values

由图 5 可知,第四与第六排土钉的实测与模拟结果有一定的偏差.这是由于模拟难以考虑实际中的各种因素,如在施工过程中出现降雨,第四排锚杆的预应力损失严重等情况.除第四、六排土钉外,其他各排数据较为吻合,说明模拟结果是正确的.

3.3 土钉和锚杆的轴力

开挖完成后两种支护结构中土钉和锚杆的轴力计算值如图 6 所示.由图 6 可知,两种支护形式的土钉与锚杆轴力分布规律类似:土钉拉力呈两头小中间大,每排土钉轴力最大值自上而下逐渐向基坑侧壁方向偏移.锚杆最大拉力在自由段,并在锚固段逐渐减小,各排土钉最大轴力点连线出现在锚杆自由段范围内.基坑顶部和底部的土钉受力相对较小,中间部位(第三、四排)土钉受力明显大于其他各排.反映此处土体变形较大,这与基坑水平位移的计算结果一致.

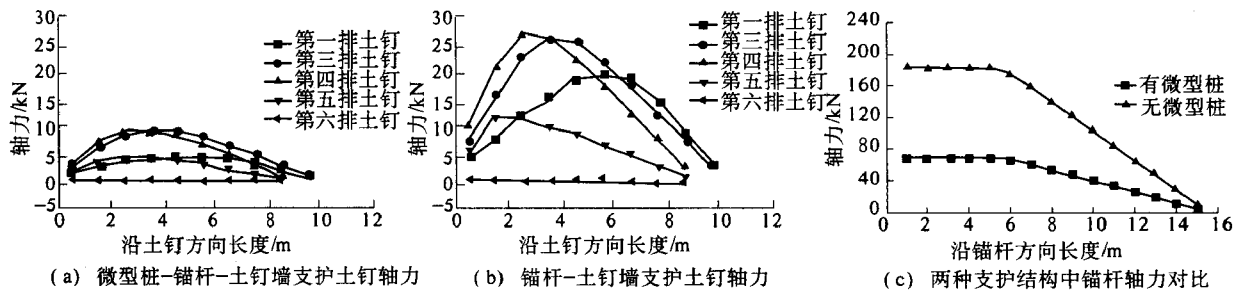


图6 土钉和锚杆轴力分布

Fig. 6 Axial force distribution on brads and anchors

对比两种支护结构土钉锚杆的受力可以看出,布置微型桩后,第二排锚杆轴力降低较大,其他各排土钉轴力降低也较为明显,表明微型桩对受力较大的支护结构影响比较明显,除明显降低土钉和锚杆的轴力外,且能对土钉锚杆受力进行优化分配,改善其受力状态。

3.4 基坑侧壁水平位移

两种支护模型基坑侧壁的水平位移比较如图7所示。由图7可知,微型桩-锚杆-土钉墙支护形式的基坑侧壁最大水平位移值为28.82 mm,符合规范要求;而未设置微型桩的支护结构的基坑侧壁最大位移达到56 mm,超出了规范规定范围。表明微型桩加强了周围土体的强度,改善开挖后土体的应力场,从而有效地控制基坑侧壁的水平位移,提高了边坡的稳定性。

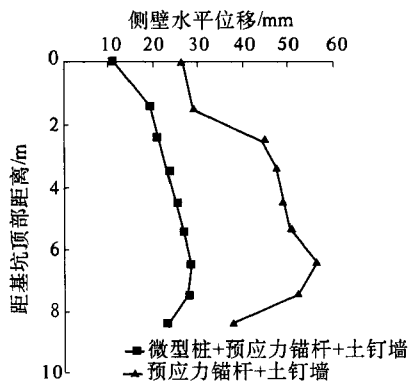


图7 基坑侧壁水平位移图

Fig. 7 Distribution of horizontal displacement of side of foundation pit

3.5 微型桩弯矩分析

基坑开挖完成后,微型桩的弯矩值如图8所示。由图8可知,微型桩桩身有3次反弯点出现,在桩长6 m和9 m处分别出现正负弯矩最大值。

在第一至第二个反弯点范围内,两排预应力锚杆的主动压力,经过土体的传力作用,使微型桩不仅承受主动区土压力,还受到锚杆的约束。这

样,微型桩与锚杆的相互作用形成简支梁受力体系,该体系以微型桩为受力结构、锚杆为约束支座,主要受到土压力的作用。在此范围内微型桩受到正弯矩作用,说明锚杆与微型桩相结合成一个整体,充分发挥了各自的挡土效果。

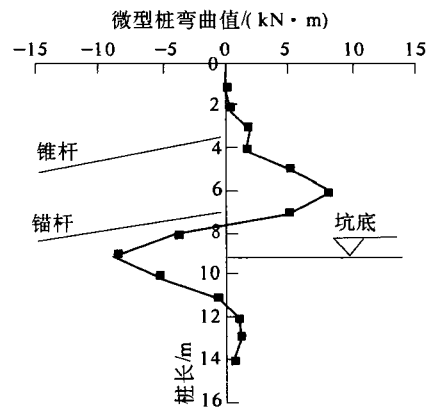


图8 微型桩弯矩值

Fig. 8 Distribution of moment of Micro-pile

4 结论

(1)微型桩可以大大降低基坑侧壁水平位移和土钉与锚杆的轴力,改善土钉锚杆受力状态,并能有效控制基坑稳定性与变形。

(2)在锚杆的作用下,基坑侧壁水平位移出现在基坑侧壁的中下部,土钉最大轴力点连线出现在锚杆的自由段范围内,说明支护结构可以充分发挥锚杆的锚固作用,该基坑结构设计是合理的。

(3)微型桩与锚杆土钉共同作用,使支护结构结合成一个整体,并能充分发挥各自的效果。基坑侧壁水平位移最大处几乎与微型桩最大正弯矩处重合。微型桩最大负弯矩处为基坑边壁坡脚处,此处受力状态极为复杂,属于薄弱部位,所以需要加强坡脚处的设计。

参考文献:

- [1] 杨志银, 张俊, 王凯旭. 复合土钉墙技术的研究及应用[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(2): 153-156.
- [2] 郭院成, 周同和, 宋建学. 桩锚与土钉联合支护结构的工程实例[J]. 郑州大学学报:工学版, 2003, 24(2): 26-28.
- [3] 杨志银, 张俊. 复合土钉墙技术在深圳的应用与发展[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(S): 1673-1676.
- [4] 陈启辉, 张鑫, 孙剑平, 等. 控制邻近建筑物变形的复合土钉支护技术设计和施工[J]. 工业建筑, 2008, 38(5): 115-118.
- [5] 李志刚, 李四清, 张冰峰, 等. 土钉支护现场测试及三维数值模拟分析[J]. 工程地质学报, 2004, 12(01): 69-73.
- [6] 郭院成, 秦会来, 王立明. 桩锚与土钉联合支护结构中的土压力分配模式[J]. 郑州大学学报:工学版, 2004, 25(3): 52-55.
- [7] 王明龙, 万林海, 黄志全, 等. 基于 FLAC3D 的土钉内力分析[J]. 工程地质学报, 2006, 14(3): 411-418.
- [8] 刘继国, 曾亚武. FLAC3D 在深基坑开挖与支护数值模拟中的应用[J]. 岩土力学, 2006, 27(3): 505-508.
- [9] 吴忠诚, 汤连生, 廖志强, 等. 深基坑复合土钉墙支护 FLAC-3D 模拟及大型现场原位测试研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(51): 1460-1465.
- [10] 郭院成, 王坤, 周同和. 单排小桩复合桩墙支护结构设计计算方法[J]. 郑州大学学报:工学版, 2007, 28(4): 8-11.
- [11] 赵延林, 曹洋, 高红梅, 等. 复合土钉支护内力与变形的模拟分析[J]. 黑龙江科技学院学报, 2009, 19(6): 486-489.
- [12] JINOH W, KWANGHO Y, SANGSEOM J, et al. Coupled effects in stability analysis of pile-slope systems[J]. Computers and Geotechnics, 2005, 32: 304-315.

Interaction Analysis of Micropile-anchor-soil Nailing Compound Structure

YAN Fu-you¹, GAO Wei¹, ZHOU Tong-he², GUO Yuan-Cheng¹

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Multi-Functional Design and Research Academy of Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In a foundation pit engineering project in Zhengzhou, we monitored the axial force of soil nail and anchor by distributed optical fiber sensor, according to measured date, and the role of the change of axial force is discussed. The computation models for two compound soil nail supporting systems are established using FLAC3D, and a construction process simulation of foundation excavating and support is conducted. Through comparative analysis of two models, the role of the micro-pile in the compound support structure can be drawn. Lastly, the simulation results were compared with the measured results. The results show that this compound supporting structure can give full play to the role of anchorage. Micro-pile can effectively control the stability and deformation of foundation, and it can improve the stress status of soil nail and anchor force. Meanwhile, the largest horizontal displacement of the foundation pit wall almost coincides with the most positive bending moment of micro-piles and maximum in the negative moment approximately coincides with slope feet of foundation pit side wall.

Key words: foundation pit supporting; micro-pile; compound supporting structure; field test; numerical simulation