

土钉墙-桩锚联合支护结构设计参数分析

宋建学¹, 庞宏飞²

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 泰宏建设发展有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 结合实例工程, 建立土钉墙-桩锚联合支护结构数值分析模型, 通过与现场实测变形成果对比, 验证了数值分析模型及参数. 在此基础上, 通过虚拟设计分析了土钉墙高度、锚索锁定值及排桩刚度等参数对支护结构变形性状的影响. 结果表明: 该支护形式中土钉墙高度不宜超过 6 m; 锚索锁定值增大对坡顶变形控制效果不明显; 排桩刚度增大对坡顶变形控制效果较显著.

关键词: 地基基础工程; 土钉支护; 桩锚支护; 数值模拟; 联合支护

中图分类号: TU470⁺3 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.06.022

0 引言

近年来, 土钉墙-桩锚联合支护结构在基坑工程中得到大量推广应用. 土钉墙支护使基坑侧壁滑裂面向后、向下推移, 使支护结构受力更合理^[1]. 图 1 即为土钉墙-桩锚联合支护结构示意图.

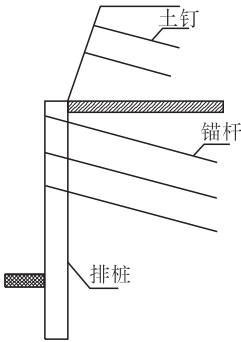


图 1 土钉墙-桩锚联合支护结构示意图

Fig. 1 The sketch of compound soil retaining structure

为了推动土钉墙-桩锚联合支护结构的推广应用, 国内学者已有一些探索和总结. 郭院成等^[2] (2004) 认为土钉墙支护结构的最佳支护高度和土质特性、放坡情况有关. 相对于单纯桩锚支护结构, 该结构中的支护桩弯矩分布不均匀, 最大弯矩也有比较大的增加. 吴忠诚、汤连生等^[3] (2007) 以及朱彦鹏等^[4] (2009) 通过实际测量得出了支护结构后面的土体沉降呈现出勺状分布, 沉降值的最大点发生在滑裂面附近. 张丽丽等^[5] (2011) 通过试验研究表明土钉与桩锚联合支护

结构中土钉的受力略小于同样条件下单一土钉墙中土钉的受力.

笔者通过典型案例现场实测和数值模拟相结合, 研究土钉墙-桩锚联合支护结构的整体工作机理, 分析土钉墙高度、锚索锁定值及排桩刚度等设计参数对支护结构变形性状的影响.

1 工程实例及现场试验

1.1 工程概况

河南省出版产业基地 3 期地块项目基坑深度为 15.8 m, 平面尺寸 165 m × 140 m. 基坑典型支护剖面 (南侧壁) 见图 2.

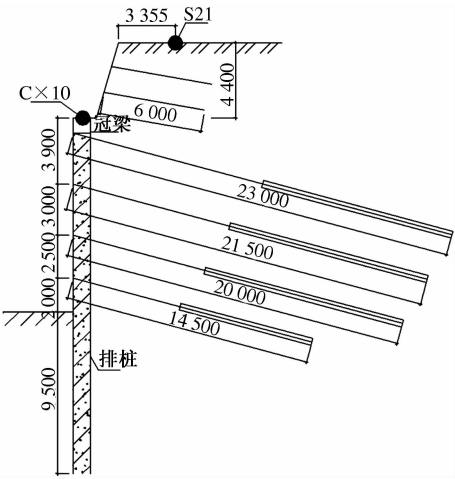


图 2 典型支护剖面图

Fig. 2 Typical Soil Retaining Structure

收稿日期: 2014-06-20; 修订日期: 2014-09-09

基金项目: 郑州市科技领军人才计划项目 (112PLJRC353)

作者简介: 宋建学 (1967-), 男, 河南洛阳人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事结构安全监测方面的研究, E-mail:

13633843010@126.com.

1.2 现场试验及成果

本工程与典型支护剖面对应位置处坡顶沉降监测成果如图 3 所示. 支护结构深层水平位移监测成果见图 4.

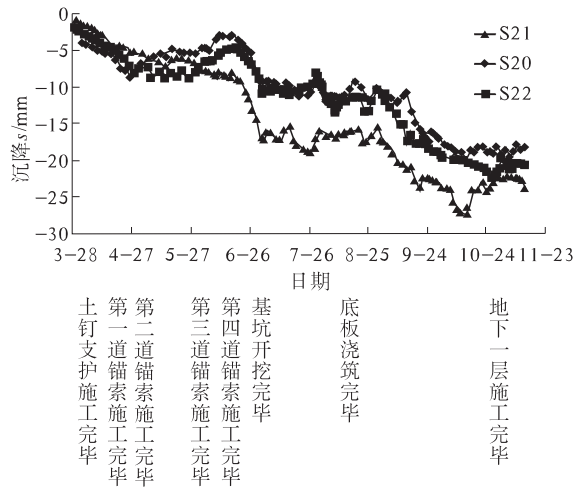


图 3 坡顶沉降图

Fig. 3 The settlement on top of soil nail wall

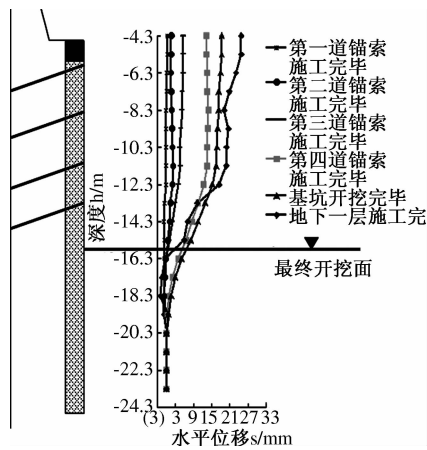


图 4 各工况下深层水平位移图

Fig. 4 The deep horizontal displacement in excavation stages

2 工程模型化及验证

笔者以 ABAQUS 软件为平台, 构建数值模型进行计算分析.

(1) 模型尺寸. 考虑到基坑的对称性, 模拟采用了二维对称的基坑模型, 宽度方向取 220 m, 深度方向取 60 m, 整个区域为 220 m × 60 m.

(2) 模型边界条件、网格划分. 模型左右两边采用水平方向约束, 底部采用水平和竖向约束. 为了提高分析精度, 在受力集中部位划分网格比较细. 土体单元采用平面应变减缩积分单元 CPE4R, 锚索、土钉采用 T2D2 二节点杆单元, 支护桩采用二维梁单元 B21.

(3) 模型参数、接触类型. 土钉与土体按嵌入方式连接; 桩和土体采用接触关系, 摩擦系数为 0.3, 法线方向为刚性; 锚索锚固段与土体建立绑定约束, 自由端端部绑定在桩上. 土体采用 M—C 塑性模型, 锚索、土钉采用线弹性模型, 弹性模量为 3.0×10^{11} Pa, 泊松比为 0.2; 支护桩的弹性模量为 2.0×10^{10} Pa, 泊松比为 0.31. 为了便于分析, 将钻孔灌注桩按照抗弯刚度等效原则转化为地下连续墙进行模拟, 对桩径为 D 、桩中心距为 d 的灌注桩, 换算为连续墙后的厚度为

$$h = \sqrt[3]{\frac{3\pi D^4}{16d}} \quad (1)$$

通过对每个工况进行模拟计算, 得到各个工况条件下的变形结果, 再与实测成果进行比较分析. 图 5 是坡顶沉降模拟结果与实测结果对比. 图 6 是深层水平位移的模拟结果和实测结果对比.

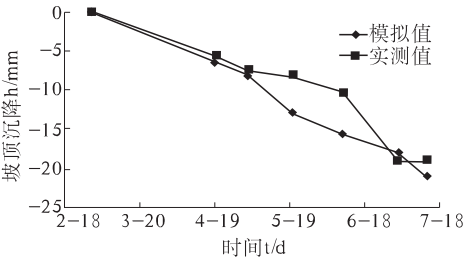


图 5 坡顶沉降对比图

Fig. 5 Compare of settlement on top of Soil Nail Wall

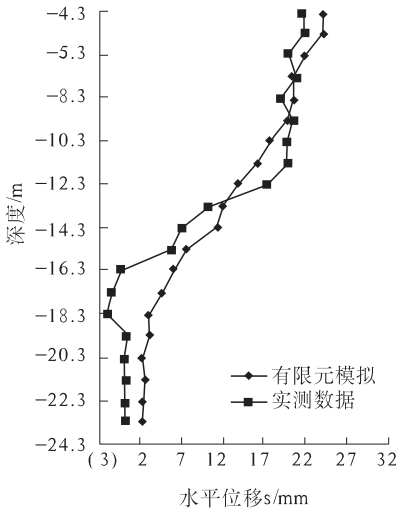


图 6 深层水平位移对比图

Fig. 6 Compare of deep horizontal displacement

从图 5 和图 6 可以看出: ABAQUS 数值分析结果整体上和实测结果基本吻合, 表明所选的模型及参数符合工程实际, 可以以此模型为平台, 进行虚拟设计, 以便分析设计参数对这种支护结构变形性状的影响规律.

3 虚拟设计及参数分析

3.1 土钉墙高度

土钉墙不同高度时的坡顶水平位移如图 7 所示.从图 7 可以看出,随着土钉墙高度的增大,纯土钉墙坡顶水平位移略有增加,而土钉墙-桩锚联合支护结构坡顶水平位移增加较快,当土钉墙高度为 5.8 m 时,坡顶水平位移已经超过规范^[6]规定的预警值.考虑到此种结构中冠梁起的作用等,建议土钉墙-桩锚联合支护结构中土钉墙高度宜限制在 6 m 以内.

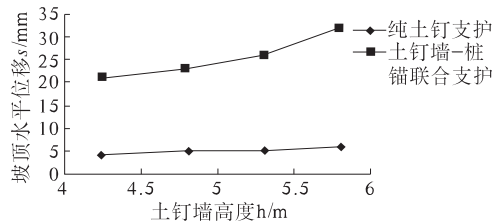


图 7 土钉墙不同高度时的坡顶水平位移
Fig.7 The top horizontal displacement under different soil nail wall height

3.2 锚索锁定值

虚拟分析所采用的 3 组锚索锁定值如表 1 所示.不同锚索锁定值时支护桩的水平位移如图 8 所示.从图 8 可以看出,随着锚杆锁定值的增大,支护桩桩身水平位移整体变大,但水平位移增量都较小.

表 1 虚拟设计各组锚索锁定值

Tab.1 Each anchor force in the virtual design kN

锚索力	第一组	第二组	第三组
第一排	100	200	300
第二排	100	200	300
第三排	100	200	300
第四排	100	200	300

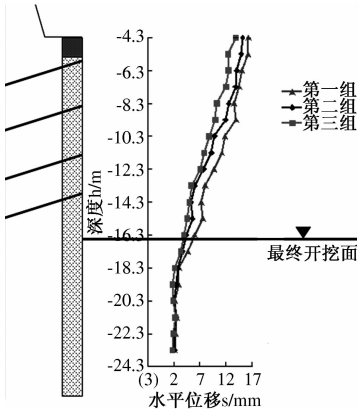


图 8 不同锚索锁定值时支护桩的水平位移
Fig.8 The horizontal displacement under the different pre-stress value

不同锚索锁定值时排桩的变形值如表 2 所示.从表 2 可以看出,当锚杆锁定值从 100 kN 提高到 300 kN 时,基坑坡顶水平位移和沉降均无明显变化.规范^[7]规定锚杆锁定值宜取锚杆轴向拉力标准值的 0.75~0.9 倍,因此实际工程中锚杆锁定值的变化范围较小.基于上述认识,针对土钉墙-桩锚联合支护结构中特定的桩、锚刚度比例,锚索锁定值改变对坡顶的水平位移和沉降影响比较小.

表 2 不同锚索锁定值时基坑的变形值
Tab.2 The deformation of excavation under the different pre-stress value

锚索值/ kN	坡顶水平 位移/mm	冠梁水平 位移/mm	坡顶沉降 位移/mm
100	20.04	16.26	12.55
200	19.13	15.14	11.95
300	18.31	13.86	11.27

3.3 桩径

不同桩径经软件模拟换算厚度如表 3 所示^[8].不同桩径下支护桩水平位移如图 9 所示.从图 9 可以看出,随着桩径的增大,支护桩桩身位移整体变小且增量也变小.

不同桩径条件下基坑的变形值如表 4 所示.分析表 4 可知,改变桩径(桩间距不变)对坡顶水平位移、坡顶沉降都有明显影响.考虑到安全和经济的因素,建议在实际支护设计中应保证支护桩具有适当刚度.

表 3 不同桩径换算厚度

Tab.3 The equivalent thickness of wall corresponding to different pile diameter

桩径/m	软件模拟换算厚度/mm
0.8	0.543
1.0	0.732
1.2	0.933

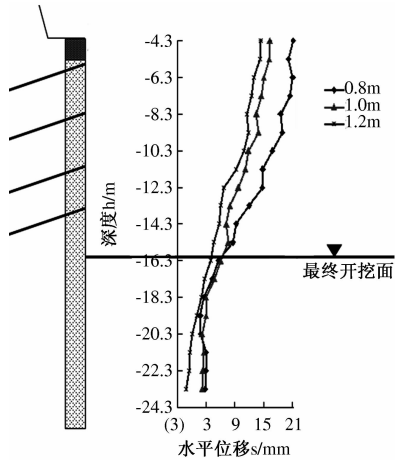


图 9 不同桩径条件下支护桩水平位移
Fig.9 The horizontal displacement of retaining pile under with different diameters

表 4 不同桩径基坑的变形值
Tab. 4 The deformation of excavation under
different pile diameters mm

桩径/ m	坡顶水 平位移	冠梁水 平位移	坡顶沉 降位移
0.8	25.67	21.14	15.83
1.0	20.04	16.26	12.55
1.2	19.31	14.47	11.81

4 结论

对土钉墙－桩锚联合支护结构的现场试验和数值模拟分析表明：

- (1)土钉墙－桩锚联合支护结构中土钉墙高度宜限制在 6 m 以内.
- (2)锚索锁定值改变对坡顶的水平位移和沉降影响较小.
- (3)排桩直径对支护结构变形影响显著. 在实际支护设计时应保证支护桩具有适当的刚度.

参考文献：

[1] 尹骥,李象范. 上部土钉、下部桩锚结构的复合型围护结构计算方法的探讨[J]. 岩土锚固工程,2008,

12(4):26－30.

[2] 郭院成,杨庆,黄广华,等. 桩锚与土钉联合支护结构的优化选型[J]. 河南科学,2004,22(3):363－366.
[3] 吴忠诚,汤连生,刘晓纲,等. 复合土钉墙大型现场测试及变形性状分析研究[J]. 岩土力学与工程学报,2007,26(z1):2974－2980.
[4] 朱彦鹏,夏晋华,司亚蔚. 深基坑桩锚与土钉墙联合支护结构的变形监测分析[J]. 甘肃科学学报,2009,21(1):117－120.
[5] 张丽丽,张钦喜,马庆迅. 桩锚-土钉组合支护中土钉受力规律[J]. 北京工业大学学报,2011,37(9):1338－1342.
[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50497—2009,建筑基坑工程监测技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,2009.
[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
[8] HORVATH R G, KENNEY TC, KOZICK P. Method of improking the performance of drilled in weak rock[J]. Canadian Geotechnical Journal,1983,20:758－722.

Study on Deformation Corresponding to Different Design Parameters of Excavation Retaining Structure with Soil Nail and Pile Anchor

SONG Jian-xue¹, PANG Hong-fei²

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Taihong Construction Development Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Based on practical project, the ABAQUS numerical analysis model is established. After the comparing study on numerical analysis results and the field monitoring ones, the model and corresponding parameters are verified. Then, virtual designs are carried out, with different heights of soil nail wall, pre-stress forces of anchorage, and stiffness of pile. The adequate height of soil nail wall is no more than 6 m. It shows that the pre-stress force of anchorage has little effect on deformation control. On the contrary, the stiffness of pile is vital for deformation control in this style of soil retaining structure.

Key words: soil and foundation engineering;soil nailing;pile anchor;numerical simulation; combined support