

文章编号:1673-9469(2011)03-0005-04

基于 FLAC3D 的复合土钉支护数值模拟分析

李晶晶¹,程祖锋²,耿立立¹,张蕊蕊¹

(1.河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038;2.河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038)

摘要:采用 FLAC3D 有限差分软件,对预应力锚索复合土钉支护结构的开挖支护施工过程进行动态模拟,分析了基坑开挖过程中土体的变形特性,发现土体的水平位移随着开挖深度的增大而增大,但由于锚索的加入,对土体向坑内的倾斜有一定的限制作用。得出基坑水平位移变化曲线基本呈“鼓肚”形状,且土体最大水平位移模拟值和实测值相差 0.75 mm,模拟值与实测值非常接近。

关键词:FLAC3D;预应力锚索;复合土钉

中图分类号:TU473

文献标识码:A

Numerical simulation analysis of composite soil nailing based on FLAC3D

LI Jing-jing¹, CHENG Zu-feng², GENG Li-li¹, ZHANG Rui-rui¹

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. College of Resource, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The finite difference model of FLAC3D was used to simulate the construction process of prestressed anchor composite soil nailing excavation dynamically, and then the deformation of soil in the process of foundation pit excavation was analyzed. The results show that the horizontal displacement of soil increases with the depth of excavation, and the inclination of soil mass to the pit is restricted as the result of the entrance of the anchor. The horizontal displacement curve of pit was “bulging”, and the simulation and measured values are much closed with only 0.75 mm.

Key words: FLAC3D; prestressed anchor; composite soil nailing

复合土钉支护是一个三维问题,而现有理论和方
法大都是将复合土钉简化成平面问题来研究。在采
用平面模型时,土钉在垂直于计算平面方向被展开成
板状,从而明显夸大了钉-土界面的实际面积,而且
这样展开的土钉将其上下土层完全分开^[1],在这种情
况下无论是否加入界面单元及界面单元的力学参数
如何取值,在理论上都不能符合实际^[2]。对此,伍俊
等人采用数值模拟方法研究了深基坑复合土钉支护
结构的三维力学特性,结果表明数值模拟方法不仅能
很好的模拟复合土钉支护的问题,还能够清晰的显现
出基坑开挖过程中土体与支护结构的位移场和应力
场^[3-5]。

在目前众多的数值模拟分析程序中,基于有
限差分法的 FLAC3D 程序不仅能很好的模拟基坑
的三维问题,而且能够很好的模拟地质材料受力
作用下屈服、塑性流动、软化直至大变形等力学行
为^[6]。鉴于此,本文采用美国 Itasca Consulting
Group Inc 公司开发的 FLAC 分析软件,对邯郸市某
基坑工程的预应力锚索复合土钉支护结构的开挖
支护施工过程进行了模拟分析,并将模拟结果与
实测结果分析对比,进一步揭示基坑在开挖过程
中的变形特征,为基坑预应力锚索复合土钉墙支
护的设计和施工提供有意义的参考。

收稿日期:2011-04-06

作者简介:李晶晶(1986-),女,山西吕梁人,硕士研究生,从事岩土工程方面的研究。

1 作用机理

预应力锚索复合土钉是用于土体开挖和边坡稳定的一种挡土支护技术,将土钉和预应力锚索置入土体中以较密间距间隔排列,使土钉、预应力锚索与土体共同作用形成复合支护。

预应力锚索与土钉联合作用时,当土体开挖后,土体滑移范围大于土钉的长度,此时土钉不能再加固土体,在此阶段前及时置入预应力锚索,它可以提供支护抗力,阻止土体的进一步扰动,控制约束变形的发展,更重要的是改善了土体的应力状态,使基坑边坡体内的潜在破坏区、拉张区及塑性区大大减小,延缓或阻止滑动面的连通与出现,从而有效的控制锚索—腰梁结构影响范围基坑土体变形,同时减少该范围内土钉的轴力负担。在工作状态下,土钉和预应力锚索二者的受力状态变化影响较小,它们能够各自发挥作用。

2 数值模拟分析方法

三维快速拉格朗日分析是一种基于三维显式有限差分的数值分析方法,它可以模拟岩土或其他材料的三维力学行为^[7]。FLAC3D(Fast Lagrangian Analysis of Continua 3 Dimension)是美国 ITASCA

公司开发的一种三维快速拉格朗日分析程序,包含了 11 种弹塑性材料本构模型,以及静力、动力、蠕变、渗流、温度等多种计算模式,可以模拟岩体、土体或其他材料实体等多种结构形式,以及梁、锚元、桩、壳等人工结构。FLAC3D 采用有限差分法,记录开挖每一时间步长下土体位移及结构的受力状态,能够充分考虑施工过程中的时间效应;同时采用人机交互式的批命令形式,在计算过程中根据施工过程,对计算模型和参数模型进行实时调整,达到对施工过程进行实时仿真的目的^[8]。

3 案例分析

邯郸市某基坑开挖深度为 10 m,南北长约为 210 m,东西宽约为 148 m。该基坑位于邯郸市丛台路和东柳大街交叉口的东北角。基坑土体参数见表 1。基坑支护方案为:东侧采用土钉墙+灌注桩+锚索支护;西侧采用灌注桩+锚索支护;北侧采用土钉墙+锚索支护。依据本文的研究方向,只选择北侧支护方案进行研究,其中土钉采用 1 根 $d = 18 \text{ mm}$ 的 HRB335 级钢筋,砂浆注浆,具体参数见表 2;锚索采用 2 束 $d = 15.2 \text{ mm}$ 的 1×7 绞线,锚固段用砂浆注浆,具体参数见表 3。实际共设置 4 排土钉和 2 排锚索,其剖面图见图 1。

表 1 土层参数

Tab. 1 Soil parameters

土层	土层厚度 /m	内摩擦角 /(°)	粘聚力 /kPa	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 /MPa	泊松比 μ
素填土	0.60	8.0	8.0	18.0	7.31	0.33
粉土	3.90	10.3	19.4	19.6	7.54	0.33
粘土	0.50	15.3	24.0	18.3	6.79	0.32
粉土	3.90	12.2	17.3	19.5	7.54	0.33
粉质粘土	3.20	7.4	13.8	18.7	5.79	0.32
粘土	2.70	16.1	43.3	19.4	12.50	0.32
粉土	4.20	13.0	29.7	20.6	13.00	0.33
粉质粘土	2.80	12.8	19.6	20.5	15.00	0.32

表 2 土钉参数

Tab. 2 Parameters of soil nailing

序号	水平间距/m	竖向间距/m	入射角度/(°)	钻孔直径/mm	土钉长度/m
1	1.5	2.0	5	120	11.0
2	1.5	3.0	5	120	12.0
3	1.5	3.0	5	120	10.0
4	1.5	1.5	5	120	8.0

表 3 锚索参数
Tab.3 Cable parameters

序号	水平间距 /m	竖向间距 /m	入射角度 /($^{\circ}$)	钻孔直径 /mm	锚索长度 /m	锚固段长度 /m	施加预应力 /kN
1	1.5	3.5	18	165	25.0	20.0	110
2	1.5	3.0	18	165	23.0	18.0	120

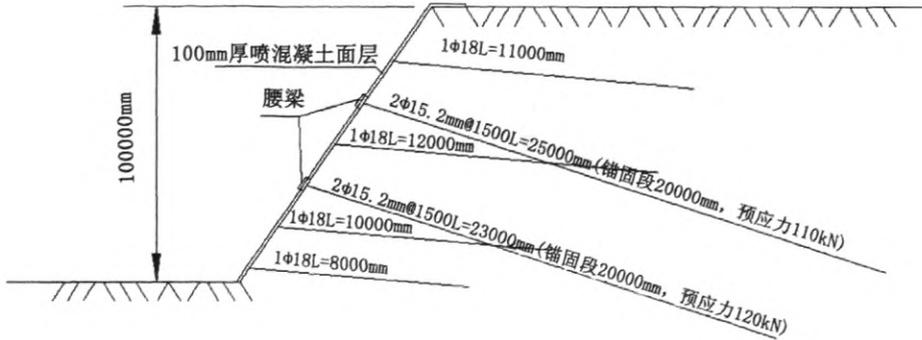


图1 复合土钉断面支护图
Fig. 1 Retaining section diagram of composite soil nail

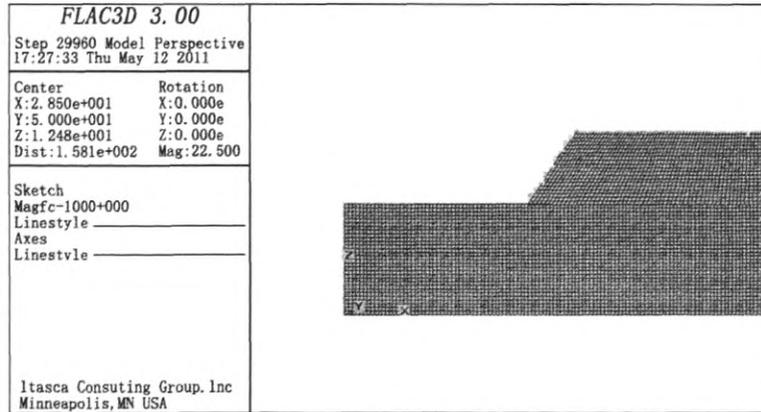


图2 预应力锚索复合土钉模型
Fig. 2 Prestressed composite soil nailing model

3.1 有限元模型的建立

本文计算模型采用长 50 m、宽 25 m 的区域进行模拟计算。土钉参数弹性模量 $E = 2.50 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$,泊松比 $\mu = 0.30$ 。锚索锚固段参数弹性模量 $E = 3.00 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$,泊松比 $\mu = 0.30$;锚索自由段参数弹性模量 $E = 1.95 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$,泊松比 $\mu = 0.25$ 。根据以上参数,运用 FLAC3D 编制程序,最后建立有限元模型如图 2。

3.2 计算结果分析

为了监测基坑边坡土体水平位移的变化,在

坡顶和不同深度测斜管所处的位置设置了监测点,通过 FLAC3D 中的 History 命令对各监测点的水平位移变化情况进行了监测。所得监测结果如图 3、图 4 所示。

依据图 3 可以发现,预应力锚索复合土钉支护结构水平位移变化总体呈两边小、中间大,最大水平位移发生在基坑边坡的中下部,与实测结果是一致的。由图 4 可知,基坑的水平位移随着开挖深度增大而增大,但由于锚索的加入,对土体向坑内的倾斜有一定的限制作用,从而使下部土体位移变化率减缓,出现向下凹的现象。基坑土体最大水平位移模拟值为 15.49 mm,而实测值为

16.24 mm,二者相差 0.75 mm,模拟值非常接近实测值,证明运用 FLAC3D 有限差分软件模拟基坑水平位移的变化可以得到比较满意的结果,而且通过模拟所得的结果可以用于指导施工。

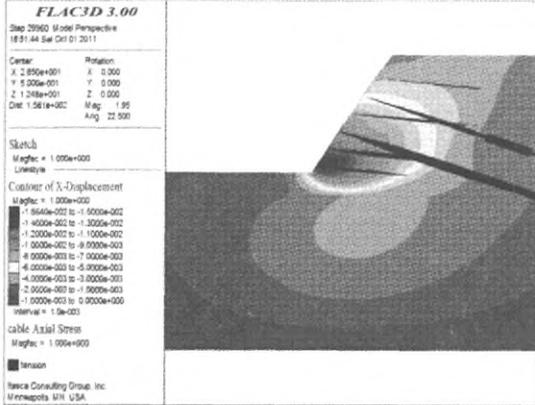


图3 土体水平方向位移等值线图

Fig.3 Horizontal displacement contour of soil

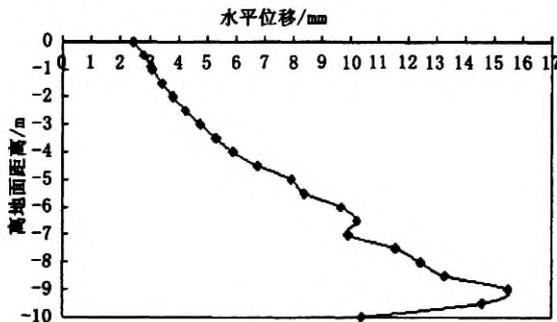


图4 土体水平位移沿深度分布图

Fig.4 Horizontal displacement distribution of soil along depth

为了进一步了解预应力锚索复合土钉支护是否优于纯土钉支护,本文还以同样的区域用 FLAC3D 有限差分软件对纯土钉支护结构进行了模拟,结果在土体开挖过程中土体出现失稳破坏,模拟结果未能完成。由此可见,预应力锚索复合土钉支护明显优于纯土钉支护,对基坑水平位移的控制具有良好的效果。

4 结论

1) 预应力锚索复合土钉支护结构的水平位移变化呈“鼓肚”分布,且最大水平位移发生在基坑的中下部。

2) 数值模拟计算得到基坑土体最大水平位移值为 15.49 mm,现场实测结果为 16.24 mm,模拟结果与实测结果基本吻合,说明 FLAC3D 可以为基坑支护的施工及变形提供可靠的预测值。

参考文献:

- [1] 宋二祥, 邱 玥. 复合土钉支护变形特性的有限元分析[J]. 建筑施工, 2001, (6): 370-374.
- [2] 张明聚, 宋二祥. 土钉支护变形性能的有限元分析[J]. 土木工程学报, 1999, 32(6): 59-63.
- [3] 伍 俊, 郑全平, 吴祥云. 复合土钉支护技术的有限元数值模拟及工程应用[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(4): 387-392.
- [4] 马 露, 李琰庆, 蔡怀恩. FLAC3D 在深基坑支护优化设计中的应用[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2007, 24(4): 35-38.
- [5] 孙春林. 基于 FLAC3D 的软土基坑开挖数值模拟[J]. 理论广角, 2011(1): 162.
- [6] 吴忠诚, 汤连生, 廖志强, 等. 深基坑复合土钉墙支护 FLAC-3D 模拟机大型现场原位测试研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增 1): 1460-1465.
- [7] 薛丽影, 杨 斌. FLAC 在复合土钉支护变形分析中的应用[J]. 建筑科学, 2005, 21(6): 95-100.
- [8] 王宏辉, 张仙义. 基于 FLAC3D 的圆形隧道应力位移的数值模拟与分析[J]. 市政·交通·水利工程设计, 2008(2): 73-78.

(责任编辑 马立)