

文章编号: 1000-7598-(2002)06-0828-03

浅埋暗挖地铁隧道开挖过程的模拟研究

吉小明^{1,2,3}, 张选兵², 白世伟²

(1. 石家庄铁道学院, 河北 石家庄 050043; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071
3. 中国矿业大学 北京 100083)

摘要: 在讨论浅埋暗挖地铁隧道开挖所引起的应力和位移释放的基础上, 进行了隧道开挖卸荷的有限元模拟计算, 讨论了开挖方式对地层位移释放的影响。模拟结果可指导隧道的施工设计。

关键词: 隧道开挖; 位移释放; 有限元计算

中图分类号: U459.2 TB115 **文献标识码:** A

Simulation study of excavation process of shallow embedded tunnel for metro

Ji Xiao-ming^{1,2,3} ZHANG Xuan-bing² BAI Shi-wei²

(1. Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China; 2. Institute of Rock and Soil Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 3. Beijing Campus, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on basic concepts of stress relief and displacement relief in tunnel excavation process, a FEM simulation calculation for unloading under tunnel excavation is carried out. The effects of tunnel excavation modes on the displacement relief of strata are discussed. The calculation results may be used as a reference for selecting tunnel construction methods.

Key words: tunnel excavation; displacement relief; finite element calculation

1 引言

在地下工程或基坑开挖中, 随着开挖面推进, 如何保持岩土体的初始状态, 减少对岩土体初始状态的扰动, 保持围岩处于相对稳定状态及不发生过大位移是一个非常复杂的课题, 也是开挖问题的一个基本课题。它涉及到地下工程开挖方式的选择, 开挖空间的利用, 最佳支护方式, 支护参数及支护时机的确定等因素。因此针对具体的岩土体研究不同开挖方式下围岩的应力及位移状态, 对分析围岩稳定性及推动地下工程施工力学的发展有着重要的意义, 文献[1~3]已从不同的侧面有所论述。地下工程在开挖后保持围岩稳定性的关键在于确定开挖过程中围岩的应力释放和位移状态以利于及时采取施工对策。在浅埋暗挖地铁工程施工中, 多采用分部开挖法, 其应力位移释放规律更为复杂。本文结合某浅埋暗挖地铁隧道开挖的实例, 模拟计算不同开挖方式下围岩的位移释放规律, 以指导隧道工程的设计与施工。

2 开挖问题的特征描述

2.1 开挖过程的描述

由于受各种条件的制约浅埋暗挖隧道工程多采用分部开挖法, 如上下台阶法, 双侧壁导坑法等。图1是一隧道开挖过程的示意图。其施工过程如下

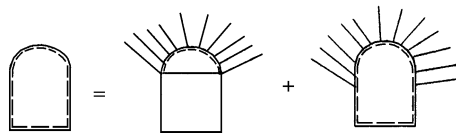


图1 开挖过程
Fig.1 Process of excavation

先开挖隧道的上台阶, 由于开挖卸荷引起围岩的应力及位移释放, 为了保持围岩的稳定性需要施工拱部锚杆, 喷混凝土支护; 开挖下台阶, 喷混凝土支护等, 完成整个隧道的施工, 整个施工过程是一个开挖卸荷—支护—开挖—支护的动态施工的力学过程。

收稿日期: 1999-12-21

作者简介 吉小明, 男, 1965年生, 博士, 主要从事地下工程与岩土工程的研究工作。

2.2 开挖卸荷的应力及位移释放

岩土体的模拟开挖计算目前较成熟是采用有限单元法,即开挖后隧道围岩应力分布 σ_s 等于原始地应力 σ_0 加上开挖卸荷引起的调整应力 σ_b ,即

$$\{\sigma_s\} = \{\sigma_0\} + \{\sigma_b\} \quad (1)$$

则开挖的应力释放率可定义为

$$\alpha = \frac{\sigma_0 - \sigma_s}{\sigma_0} \quad (2)$$

开挖后,由于围岩应力的变化,围岩必然产生位移。设开挖面影响范围内的一点 P 在开挖后沿某一方向 X 的位移为 $U(P, X, t)$,若在采取适当的支护条件下,围岩某点的最终位移为 $U(P, X, \infty)$,于是对应于某点 P 的位移释放率定义为

$$S(P, X, t) = \frac{U(P, X, t)}{U(P, X, \infty)} \quad (3)$$

实际上,在浅埋地下暗挖工程中,大多数是在地表设立沉降观测点,这样就可根据地表某点的实际测量下沉值与允许沉降值的比较来作施工决策。

3 开挖荷载的计算

3.1 释放荷载的计算原理

影响隧道开挖有限元分析结果的因素很多,如岩土体的本构模型,计算模型的力学参数,围岩一支护结构的相互作用,开挖荷载的模拟等。其中,开挖荷载模拟的影响对研究开挖方式对隧道开挖的应力位移释放影响是很重要的。如果开挖荷载的模拟不准确,则不能反映开挖问题是一个开挖卸载—加载的动态施工过程。

研究者们已提出多种开挖荷载的模拟方法,但在有限元模拟中开挖实际上是将被开挖掉的单元体通过开挖面释放出与其它单元的相互作用力。若某次开挖之前,开挖面上的结点力为 F ,给该开挖面上的结点施加与其相反的结点荷载 $-F$,并将挖去的单元从计算网格中删除,即使开挖面成为应力自由面,再进行有限元计算,得到该级开挖后的位移场和应力场,由此可见,模拟开挖荷载的实质是如何计算挖去的岩上体对其它结点所产生的结点力,即

$$F = \sum_{i=1}^{NE} \int_{V_i} N^T \sigma_0 dV - \sum_{i=1}^{NE} \int_{V_i} N^T f dV + \int_{S_i} N^T \bar{p} dS \quad (4)$$

式中 NE 为该次开挖面挖去的单元总数; N 为单元应变矩阵; σ_0 为开挖区域的初始应力场; f 为引起应力场单元内受到的体力; $\bar{p}$ 为引起初始应力场的已知应力边界上的面力。

3.2 开挖荷载的计算方式

对大多数浅埋地下工程来说,初始应力场可按

自重应力场来考虑,于是式(4)可简为

$$F = \sum_{i=1}^{NE} \int_{V_i} N^T \sigma_0 dV - \sum_{i=1}^{NE} \int_{V_i} N^T \gamma dV \quad (5)$$

式中 γ 为介质沿各坐标轴的重度分量所构成的列阵。

3.3 分级开挖时释放荷载的计算

设第 j 次开挖时应力场为 σ_j , $\Delta\sigma_k$ 为第 k 次开挖引起的增量应力,则

$$\sigma_j = \sigma_0 + \sum_{k=1}^{j-1} \Delta\sigma_k \quad (6)$$

类似式(5),第 j 次开挖时的开挖荷载可按下列式计算

$$F = \sum_{i=1}^{NE} \int_{V_i} N^T \sigma_j dV - \sum_{i=1}^{NE} \int_{V_i} N^T \gamma dV \quad (7)$$

4 开挖问题的实例分析

某浅埋暗挖城市地铁隧道,地层条件为砂土层和砂粘土层,其中60%为粉细砂层,开挖后地层不稳定。该隧道埋深为10m,宽26.01m,高13.5m,侧压力系数 $\lambda=0.43$,示意图如图2(单位:m)。对称计算模型取整个计算范围的1/2:为 $50 \times 63.5 \text{ m}^2$ 。有限元计算网格划分见图3,在计算中采用平面4节点等参元,总节点数为733,总单元数为684。边界条件为:左右边界在水平方向位移约束,下底面 y 方向位移约束。为了比较不同开挖方式对地表下沉值的影响,分别采用上下台阶法,双侧壁导坑法对隧道开挖进行模拟计算,模拟中采用相同的支护参数,本构模型采用邓肯-张模型,计算参数见表1。

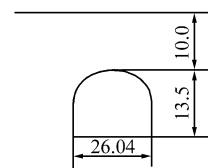


图2 隧道位置示意图

Fig.2 Figure of depth and size of tunnel

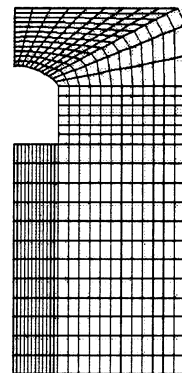


图3 有限元模型

Fig.3 The finite element model

表 1 邓肯-张模型参数
Table 1 Parameters of Duncan-Chang
model for fine sandy soil

参数名称	c/MPa	$\phi/(\circ)$	R_f	k	n	K_b	m
参数数值	0.01	44.42	0.613	215.7	0.53	151.1	0.121

从图 4 的计算结果看,对于位于砂性土层中的浅埋暗挖隧道用邓肯-张模型来分析地面沉降是合适的。在支护参数相同的条件下,采用双侧壁导坑法比采用上、下台阶法地面最大下沉值减少 24.9 %

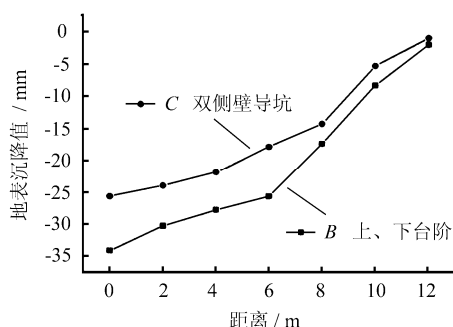


图 4 不同开挖方式的下沉值比较
Fig.4 The comparison between two settlements
of different excavation modes

5 结 语

通过本文工作,可以看出在同等支护条件下,采用双侧壁导坑法开挖隧道引起的地表下沉值较

小,由此可见,不同的开挖方式对围岩应力位移释放有较大影响。因此,在对地表沉降要求较高的城市主要干道下开挖隧道通过计算分析来模拟比较不同开挖方式对地层扰动的影响是一项十分重要的工作。在实际施工中,可利用模拟计算结果指导隧道的施工设计。另外,在实际施工中可通过监测地表沉降值来进行浅埋暗挖隧道的信息化施工。

参 考 文 献

- [1] 郑宏, 葛修润, 谷先荣等. 关于岩土工程有限元分析中的若干问题[J]. 岩土力学, 1996, 16(2): 7-12.
- [2] 孙钧, 朱合华. 软弱围岩隧道施工性态的力学模拟与分析[J]. 岩土力学, 1994, 15(4): 20-33.
- [3] 周顺华, 崔之鉴, 高渠清. 开挖问题的有限元计算格式[J]. 上海力学, 1996, 17(4): 17-22.
- [4] 金丰年, 孙钧. 隧洞开挖的三维有限元计算[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, 15(3): 20-33.
- [5] Ou C Y, Chiou D C, Wu T S. Three-dimension finite element analysis of deep excavation[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 122(5): 337-345.
- [6] Sakural S. Lessons learned from field measurements in tunneling[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1997, 12 (4): 453-460.

上接第 827 页

则应该制订治理加固方案,以便实施边开挖,边加固,达到事前控制的目的。这样即可以发挥岩体本身的自稳固潜力,又有利于加固施工的方便。并且,建议对这一类型的滑坡加固尽可能地采用预应力锚固措施,以便充分发挥岩体自稳固效应。

参 考 文 献

- [1] 杨达源, 闫国年. 自然灾害学[M]. 北京: 测绘出版社, 1993.

- [2] 陈昌彦, 王思敬, 沈小克等. 边坡岩体稳定性的人工神经网络预测模型[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(2): 157-161.
- [3] 金小萍. 层状岩体高陡边坡底摩擦试验研究[J]. 金属矿山, 1998, (3): 7-12.
- [4] 高磊. 矿山岩石力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [5] 魏作安, 金小萍. 福建蕉头山北段滑坡灾害成因分析及防治[J]. 工程地质学报, 2000, (8)(增刊): 94-96.