

考虑流变效应岩石隧道的有限元分析

郭 辉¹, 郭 斌²

(1. 兰州交通大学土木工程学院, 甘肃兰州 730070;

2. 中铁十局集团济南铁路工程有限公司, 山东济南 250031)

【摘 要】 运用反映岩体流变性质的粘弹性原理, 建立了广义开尔文模型, 确定了相应的蠕变参数。利用有限元分析软件 AD NA8.3 对岩石隧道进行了数值分析, 模拟了岩石隧道拱顶处的位移以及应力随时间的变化趋势以及蠕变的全过程。

【关键词】 隧道; 岩石流变; 广义开尔文模型; AD NA

【中图分类号】 U451⁺.2

【文献标识码】 A

流变变形是岩石的基本力学特性, 许多人工边坡和自然斜坡破坏失稳, 岩体工程失效或破坏, 都与岩石的流变变形有关^[1]。无数次深埋的地下的实际工程中, 在软岩隧道工程中, 隧道随时间所产生的大变形是确实存在的。20世纪五六十年代, E·H·Lee 和陈宗基教授率先将流变学应用于岩土工程领域研究。此后许多学者相继从事了岩土流变学研究与应用, 尤其是岩土蠕变特性的研究。多年来, 许多学者探讨用流变力学的观点解析和处理坝基、边坡、地下工程中的各种与时间有关的现象和问题, 使得岩石流变力学的研究和应用得到了长足的进步和许多重要的成果^[7]。在岩体中开挖隧道时, 围岩地层的变形常随时间而增长, 故在对隧道围岩的变形及其稳定性方面分析时, 有必要考虑时间因素的影响。本文借助 AD NA 对某隧道进行流变数值模拟, 对隧道围岩的变形随时间而增长的性质得出规律性认识。计算结果可以为工程实践所借鉴。

1 岩石蠕变模型及有限元解法

在流变力学中, 经常采用各种简单的流变模型组合成较复杂的模型来描述岩土材料的流变特性。计算模型可由 Hooker 弹性体、Newton 流体和 St Venant 塑性体针对不同岩体的变形特征, 通过串联、并联组合构成不同的蠕变模型。本文分析中采用广义开尔文模型^[2]。广义开尔文本构方程和蠕变方程分别为式 (1)、式 (2):

$$\frac{\eta}{E_1 + E_2} \frac{d\sigma}{dt} + \sigma = \frac{E_1 \eta}{E_1 + E_2} \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \varepsilon \quad (1)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_c = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2} - \frac{\sigma}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta} t\right) \quad (2)$$

对广义开尔文体系有:

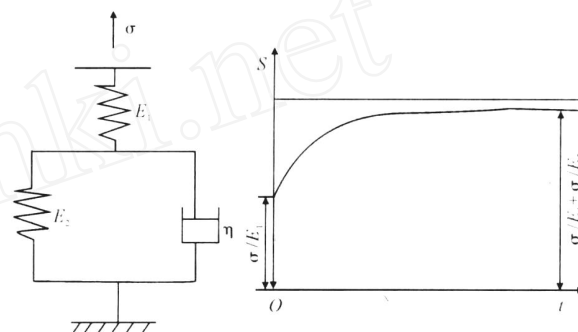
$$\frac{d\varepsilon_c}{dt} = \frac{\sigma}{\eta} - \frac{E_2}{\eta} \varepsilon_c \quad (3)$$

令:

$$\alpha = \frac{1}{\eta}, \quad \beta = \frac{E_2}{\eta},$$

则式 (3) 变为:

$$\frac{d\varepsilon_c}{dt} = \alpha - \beta \varepsilon_c \quad (4)$$



(a) 广义开尔文体系 (b) 广义开尔文体系蠕变曲线
图 1 广义开尔文体系模型

2 有限元模型的建立

本文在分析中采用了世界上著名的非线性求解软件 AD NA。在模拟流变围岩时, 采用 AD NA 提供的特殊的具有流变特性的单元材料 LUBBY。由于隧道的围岩工程力学性质较好, 在隧道开挖时假定隧道应力释放 50%。在 AD NA 中, 通过单元生死的设置可以很容易实现隧道的开挖模拟, 并且 AD NA 还提供了单元生死的时间的设置, 这样可以很容易实现隧道应力释放大小的控制。在隧道的围岩蠕变分析中, 一般地应力都比较大, 且埋深较大。本文选择了南疆铁路阿克巴斯隧道作为研究对象。在研究中对隧道进行简化, 因为隧道的长度较大, 故可以取其模型为平面模型进行模拟计算。隧道位于地下 300 m 处, 隧道为圆形断面。在建模时考虑圣维南原理, 取隧道周边 5 倍的距离, 其他土体埋深作为压力荷载作用在模型上。模型的大小为 60 m × 60 m × 60 m, 模型如图 2。围岩和支护力学参数见表 1。岩体流变参数为: $E_1 = 1160 \text{ MPa}$, $E_2 = 260 \text{ MPa}$, $\eta = 215 \text{ MPa} \cdot \text{d}$ 。

[收稿日期] 2007 - 06 - 18

[作者简介] 郭辉 (1981 ~), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 隧道与地下工程。

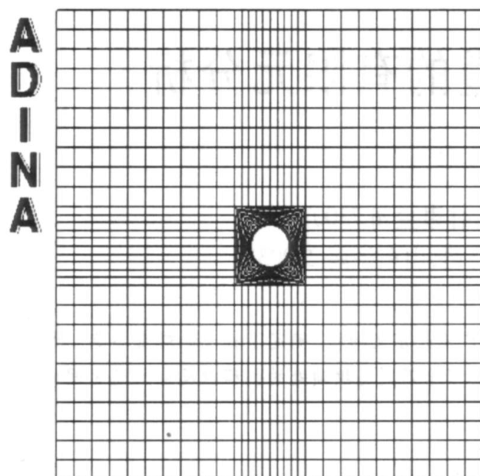


图2 有限元模型

表1 围岩和支护力学参数

名称	E (MPa)	μ	γ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)
围岩	1.16×10^4	0.35	2300
支护	2.1×10^4	0.2	2500

3 有限元模型结果分析

3.1 变形、应力分析

岩体在开挖前在原岩应力的作用下,由于导入初始地应力场的作用,这样可以抵消岩体的初始变形,故原岩的变形为0。第一次开挖时隧道拱顶的变形为9.29 mm。说明围岩的力学特性很好,这一点和实测的拱顶下沉10.6 mm很接近。对于隧道而言,位移在拱顶附近较大,围岩发生蠕变后,拱顶附近处的位移有所扩展。隧道周围的围岩总的移动趋势是:拱顶下沉、两侧合拢、仰拱向上抬起。拱顶的位移在6 d后处于稳定状态,说明蠕变主要在前期完成,拱腰以及拱底和拱顶的变化特性相同,具体如图3所示。

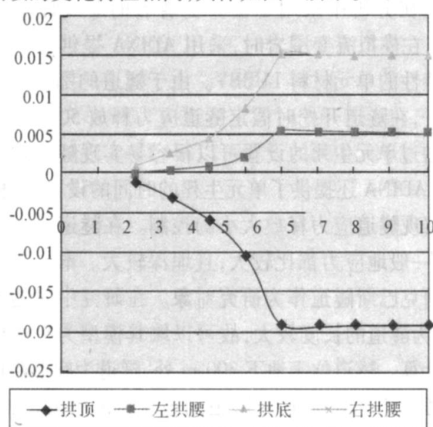


图3 隧道周边位移时间曲线

3.2 隧道周边位移时间历程分析

开挖后拱顶有瞬时弹性变形,之后随着时间的增长,岩体开始表现出蠕变性质。其大部分的蠕变变形都是在前2~3 d内完成。6 d后岩体趋于稳定。但是在前100 d的计算过

程中,前10 d变形较大,后面90 d变形一直增加。但是速度较为缓慢(图4~图7)。

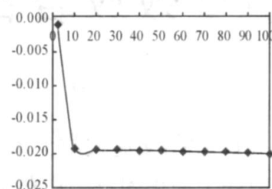


图4 拱顶位移和时间关系曲线

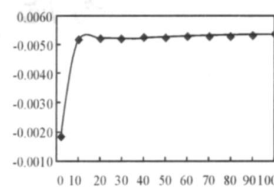


图5 左拱腰位移和时间关系曲线

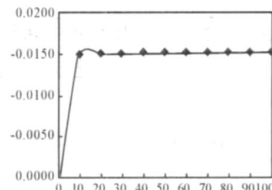


图6 拱底位移和时间关系曲线

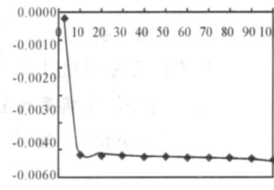


图7 右拱腰位移和时间关系曲线

3.3 隧道围岩应力分析

隧道周围围岩的第一主应力在前8 d的时间内变化较大,以后第一主应力基本没有变化。第三主应力和第一主应力的变化情况基本相同。但第三主应力的变化范围较大,具体情况如图8~图15所示。在这个模拟试验中,还可以看出,围岩的应力变化是落后与围岩的应变的,并且在8 d以后可以看出变形一直在增加,但是应力并没有增加,表现出蠕变性。

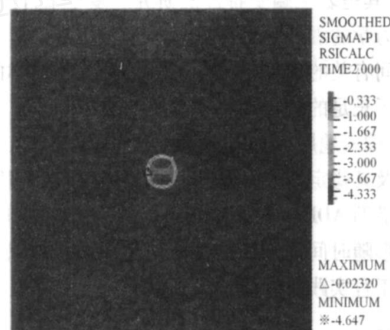


图8 隧道围岩2d第一主应力云图

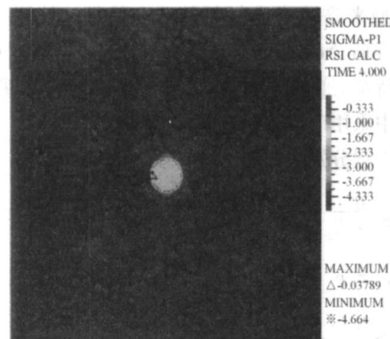


图9 隧道围岩第4d第一主应力云图

4 结论

本文应用 ADINA 软件对岩石隧道进行了数值模拟研究,得出主要结论为:

(1) ADINA 具有单元划分快节点和单元数可以尽可能

的多,网格划分自由,自适应性强,图形能力和后处理能力强等优点。应用 AD NA 进行岩石隧道流变模拟,能够真实地模拟各岩层的准确位置和各種开挖条件,可以较为准确地研究应力位移变化。AD NA 在做隧道开挖时,所提供的单元生死时间,即单元的刚度因子从 1~0 变化时间。这样可以更方便地实现围岩的应力释放等问题。

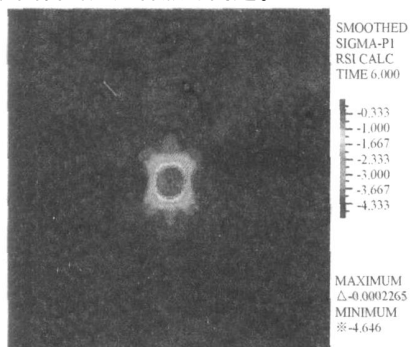


图 10 隧道围岩第 6d 第一主应力云图

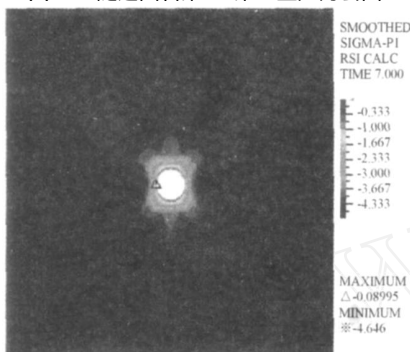


图 11 隧道围岩第 7d 第一主应力云图

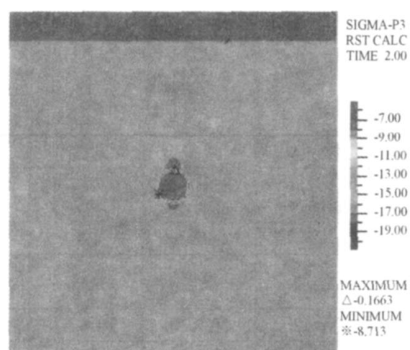


图 12 隧道围岩 2d 第三主应力云图

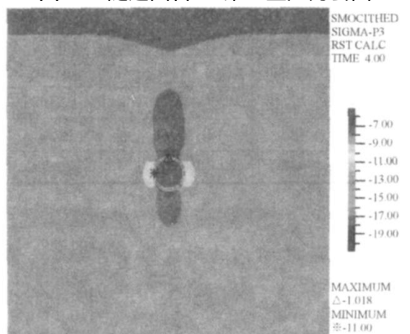


图 13 隧道围岩 4d 第三主应力云图

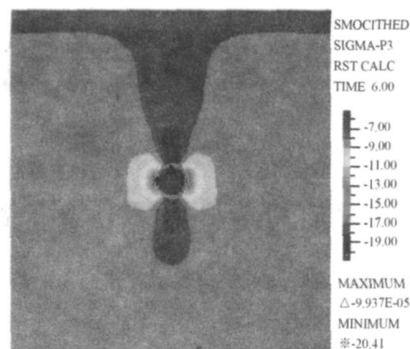


图 14 隧道围岩 6d 第三主应力云图

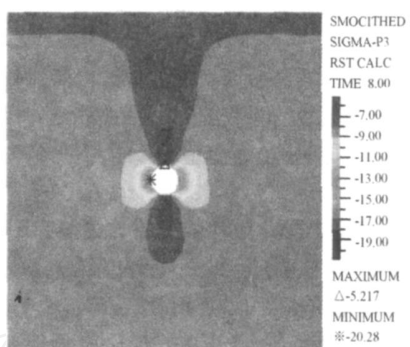


图 15 隧道围岩 8d 第三主应力云图

(2)由 AD NA 所提供的岩石流变材料在流变数值模拟知岩层开挖后 6 d 左右,蠕变非常明显。以后逐渐趋于稳定。该隧道在应力、位移方面在蠕变的全过程都满足要求的,是稳定的。应力在 8 d 左右基本稳定。这一点和其他有限元软件所做出的基本相同。

(3)通过三维蠕变模拟,获得了岩石隧道蠕变的一些规律,为隧道的施工提供了一些依据。从上面的分析中我们可以知道隧道的围岩应力变化较早,需要早支护,如果围岩的强度条件很好,在前 6 d 没有支护的情况下,隧道能够稳定,即隧道的支护基本是不承受围岩弹塑性变形的压力荷载的,而只是承担围岩的后期流变的压力荷载。

参考文献

- [1] 邓荣贵,周德培,张倬元,等. 一种新的岩石流变模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2001(6).
- [2] 李德海,王东攀,高保彬. 围岩粘弹性模型有限元模拟分析[J]. 矿冶工程, 2005(2).
- [3] 孙钧. 岩土材料流变及其工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [4] 李权. ANSYS 在土木工程中的应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [5] 卢刚. 地下资源开发中软岩巷道非线性三维仿真与虚拟卸压分析[J]. 浙江大学学报, 2002(4).
- [6] 王忠昶. 软岩矿层条带开采合理采留宽度的 ANSYS 三维流变模拟[J]. 矿山压力与顶板管理, 2003(2).
- [7] 范庆忠,王素华,高延法. 岩石流变试验与本构模型的研究进展[J]. 山东农业大学学报, 2006(1).