

双椭圆形隧道开挖及地面沉降有限元模拟

李彦璋, 陈浩, 黄仕伟, 陈芮

西京学院土木工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2023年8月6日; 录用日期: 2023年8月27日; 发布日期: 2023年9月7日

摘要

为了探究公路隧道浅埋段隧道围岩开挖后围岩变形规律, 以双椭圆形隧道开挖为工程实例, 选择开挖后变形、应力变化进行研究分析。采用COMSOL有限元模拟软件, 通过设置岩体力学参数微分方程。引入结构面刚度矩阵方程来描述节理裂隙对围岩力学参数的影响, 利用瞬态计算方法模拟了隧道上下台阶开挖后围岩的动态变形过程。模拟能够很好地反映隧道开挖过程中围岩的变形和位移, 能为隧道开挖后围岩的变形做出预测。

关键词

公路隧道, 有限元模拟, 沉降分析

Finite Element Simulation of Double Elliptical Tunnel Excavation and Ground Settlement

Yanzhang Li, Hao Chen, Shiwei Huang, Rui Chen

School of Civil Engineering, Xijing University, Xi'an Shaanxi

Received: Aug. 6th, 2023; accepted: Aug. 27th, 2023; published: Sep. 7th, 2023

Abstract

To investigate the deformation law of the surrounding rock after excavation of the tunnel perimeter rock in the shallowly buried section of the highway tunnel, the double elliptical tunnel excavation is taken as an engineering example, and the deformation and stress changes after excavation are selected to be studied and analyzed. COMSOL finite element simulation software is used, by setting the differential equations of rock mechanics parameters. The structural surface stiffness matrix equation is introduced to describe the influence of joints and fissures on the mechanical

文章引用: 李彦璋, 陈浩, 黄仕伟, 陈芮. 双椭圆形隧道开挖及地面沉降有限元模拟[J]. 土木工程, 2023, 12(9): 1181-1187. DOI: 10.12677/hjce.2023.129136

parameters of the surrounding rock, and the dynamic deformation process of the surrounding rock after the excavation of the upper and lower steps of the tunnel is simulated using the transient calculation method. The simulation can well reflect the deformation and displacement of the surrounding rock in the tunnel excavation process and can make a prediction for the deformation of the surrounding rock after the tunnel excavation.

Keywords

Road Tunnel, Finite Element Simulation, Settlement Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

双洞型隧道在施工时常常遇到上软下硬的地层情况, 因为施工引起的上部软土层发生地面不均匀沉降从而导致地表发生塌陷, 对山坡土体、施工人员及财产安全等造成巨大危害。针对解决这一危害, 国内外学者提出了经验公式法、数值模拟法以及理论解析法。本文采用数值模拟法进行研究。在隧洞开挖过程中, 由于隧洞开挖的进程和地理环境的差别, 会导致隧洞周边的地表沉降量和塑型区域发生改变[1] [2]。之前的岩土体结构发生了变化, 其伴随着的岩土体的应力也发生了改变。引起隧洞整体结构本身将受到破坏[3]。

有限元法可以在不同区间设置不同的岩体性质, 可以更加充分地在一定地质环境和地应力下近似得出应力 - 应变分布规律, 且模型构建相对简单, 使其在工程地质条件相对复杂的隧道围岩分析。隧道的开挖模拟是三维空间黏滞弹塑性问题, 三维参数的分析工作量过于巨大, 因此, 将三维问题转化为二维问题可以简化非常大的工作量, 在更容易掌握的同时, 可以更大量的去模拟和修正模型, 不断修正模型, 保证模型和边界正确的条件下可以得到更好的结果[4] [5]。

2. 结构分析模型建立

2.1. 模型建立

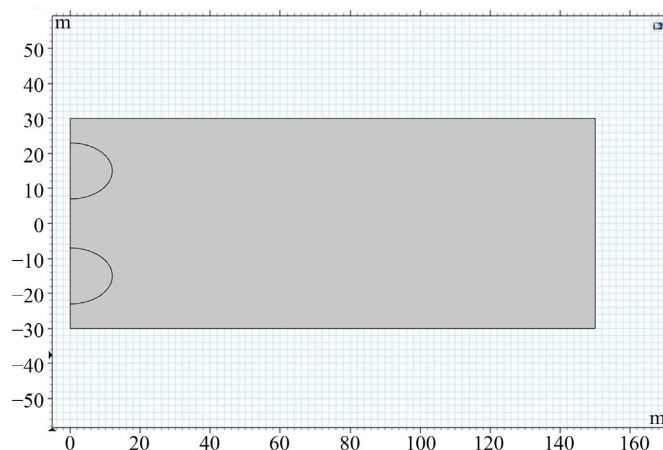


Figure 1. Schematic diagram of tunnel excavation

图 1. 隧道开挖示意图

隧洞在开挖时是分布开挖的，本文利用有限元软件模拟开挖前和开挖后土体及地面的状态，分析土体应力发展、塑性发展及地面沉降分析。在仅受重力作用的自由岩土体中挖出一条椭圆形隧洞，土体高 60 m，宽 150 m。隧洞开挖位置距离地面 34 m，两洞间隔 50 m，椭圆洞横跨为 16 m，洞高为 6 m 的椭圆形隧洞，使用 Drucker-Prager 上体塑性材料模型，并且符合 Mohr-Coulomb 准则。土体力学参数分别为杨氏模量取 12e6 Pa，泊松比为 0.492，粘聚力为 130 kPa，内摩擦角为 30°，具体尺寸信息如图 1 所示。

2.2. 网格划分

本文采用自由三角网格单元划分网格，可以看出靠近隧道开挖处的网格较为集中，不在隧道开挖处的网格就分布正常，这一集中可以更加良好的反映出隧道开挖后的应力应变状态，网格划分情况如图 2 所示。

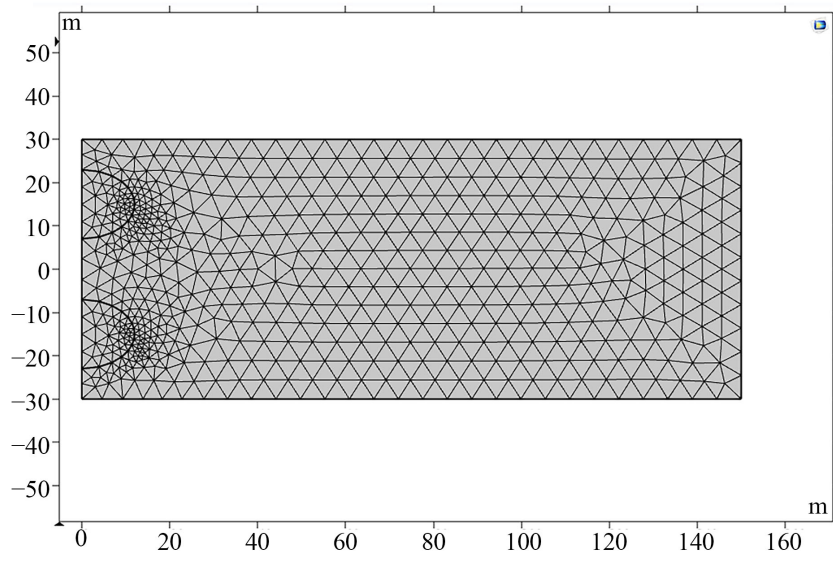


Figure 2. Schematic diagram of tunnel excavation grid
图 2. 隧道开挖示意图

2.3. 计算结果及分析

模拟的进程分为两步，首先计算的是隧洞开挖前的应力状态，对比开挖后的应力状态以此评估隧洞开挖对土体造成的破坏程度，同样，也能看出土体的塑性发展程度。土木应力发展和土体的土体本构相关，所以确定好土的本构模型才能更好的模拟土体在开挖后应力应变的发展，有限元模拟通过有限元参数得出的相应数据，可以更加真实的反应有限元模拟后的结果，本文选用岩土在自重下的应力值作为土体的初始应力状态。

3. 计算结果分析

3.1. 岩土应力分析

开挖后的模拟状态，初始应变是第一步自重下土体的应力数值计算出来的数值。运用 COMSOL 软件对开挖后进行数值模拟，模拟后，计算出的应力云图、塑性发展云图、沉降曲线等。计算得到土体开挖前等效应力分布云图如图 3。在隧洞开挖前的隧洞往前是静止土压力。计算得到土体开挖后等效应力分

布云图如图 4。开挖前最大初始应力为 160 kPa，位与土体最下层；开挖后，最大应力出现在下开洞处，最大应力是 1000 kPa。

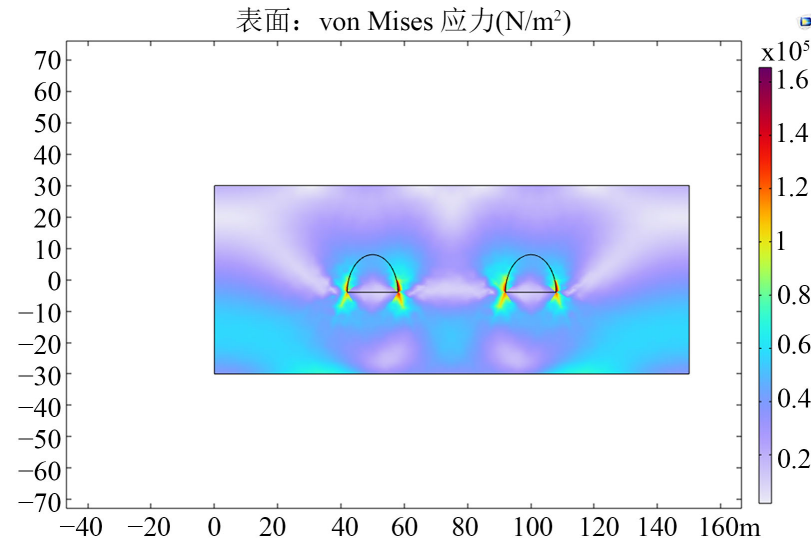


Figure 3. Before tunnel excavation should strive
图 3. 隧道开挖前应力图

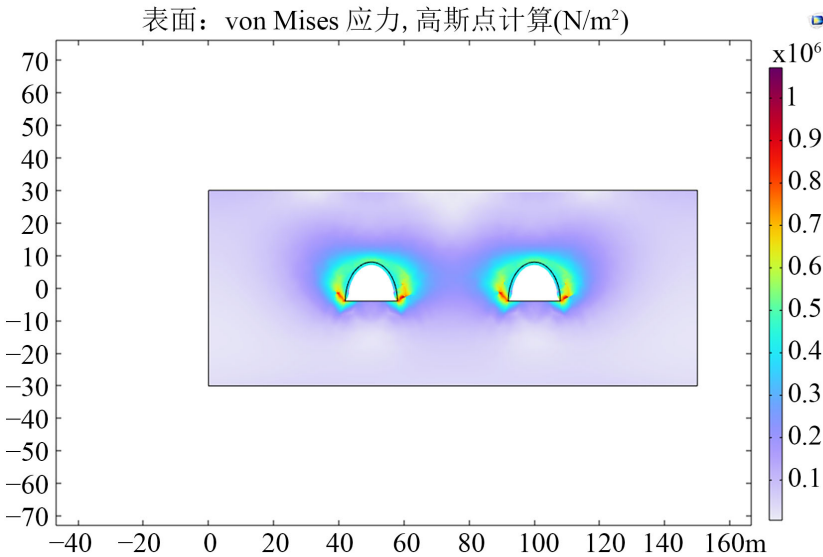


Figure 4. After tunnel excavation should strive
图 4. 隧道开挖后应力图

3.2. 岩土塑性发展

在力学分析中，任何物体的受力状态都会经历三个阶段：弹性、塑性与破坏，隧道开挖的过程都会伴随着各种支护方案，所以结构的塑性发展过程或者趋向会给开挖隧道支护提供方向。本文的塑性发展主要集中在下洞两侧边缘处，塑性发展对另一个隧洞的影响较小，说明隧洞布置良好，塑性发展可控。本文的塑性发展状态如图 5 所示。

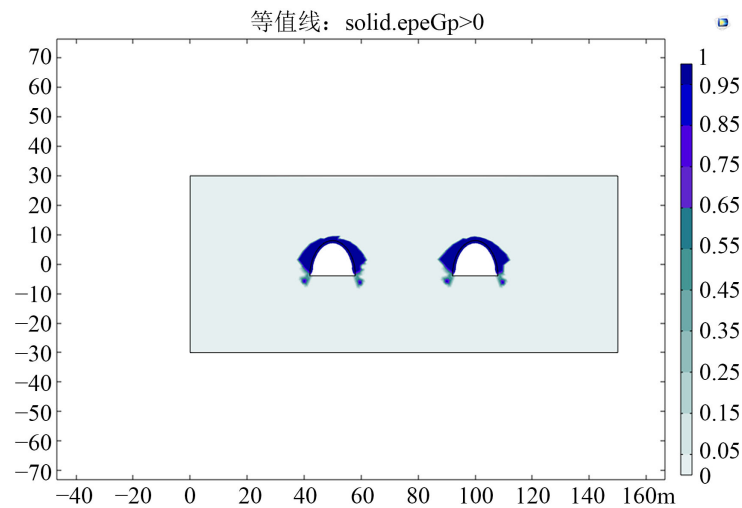


Figure 5. Equivalent plastic strain diagram

图 5. 等效塑性应变图

3.3. 地表沉降分析

沉降对地面人生财产安全会有较大的影响，所以隧道开挖后对沉降分析有较大的影响。从图 6 中可以观察到土体开挖后地面沉降的位置以及大小，开挖后土体产生最大的沉降为 450 mm，其最大位置发生在隧洞中心点偏右的位置，图中 x 轴为土体的坐标， y 轴为沉降的位移。

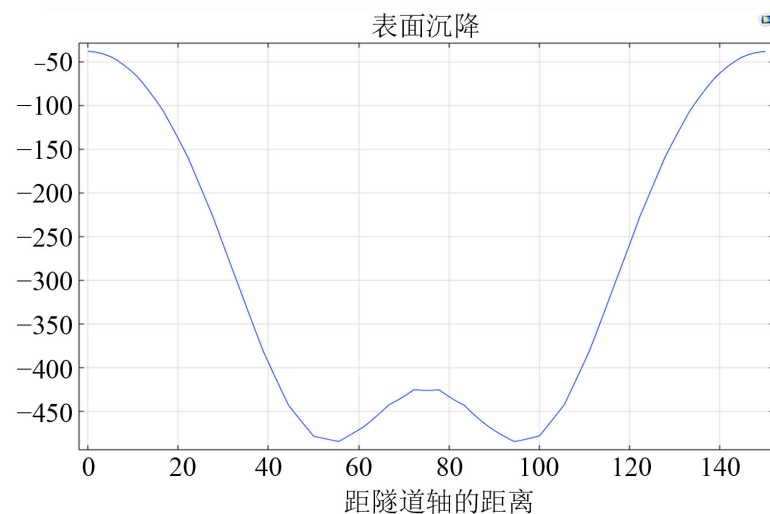


Figure 6. Equivalent plastic strain diagram

图 6. 50 mm 间距开挖后沉降曲线

3.4. 隧洞间距对沉降的影响。

隧洞间距对沉降的影响较大，本文做了三个隧洞间距的有限元模拟，分别问 40 m、50 m 和 60 m。如图 6、图 7 和图 8。随着隧洞间距的降低，地面沉降也越来越大，从 60 m、50 m 再到 40 m 分别降低了 4.5%和 30.4%，所以随着间距越小造成的地面沉降越大，这一现象原因随着隧道的间距减小，对同一土体应力状态破坏越大，造成的应力集中现象也更加集中，隧道开挖会显著改变围岩的应力状态，在本模

型中具体表现为：开挖的隧道会表现出显著的应力集中现象，其对隧道顶部围岩稳定性影响最大[6]。

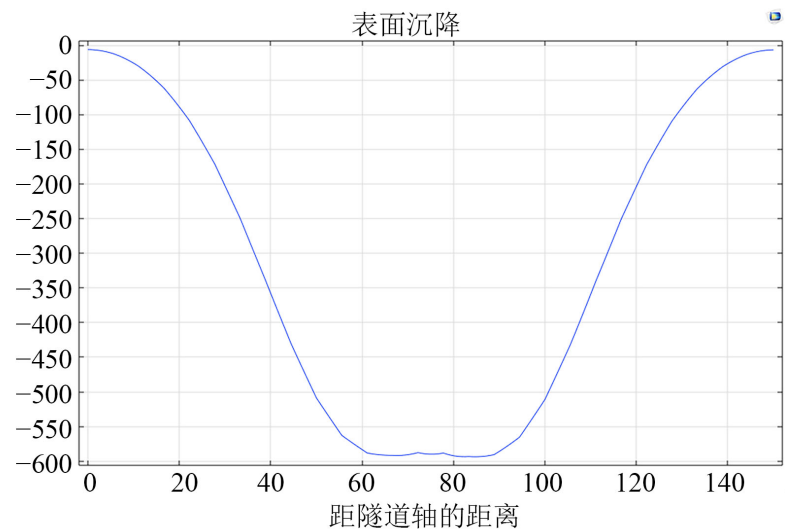


Figure 7. Equivalent plastic strain diagram
图 7. 50 mm 间距开挖后沉降曲线

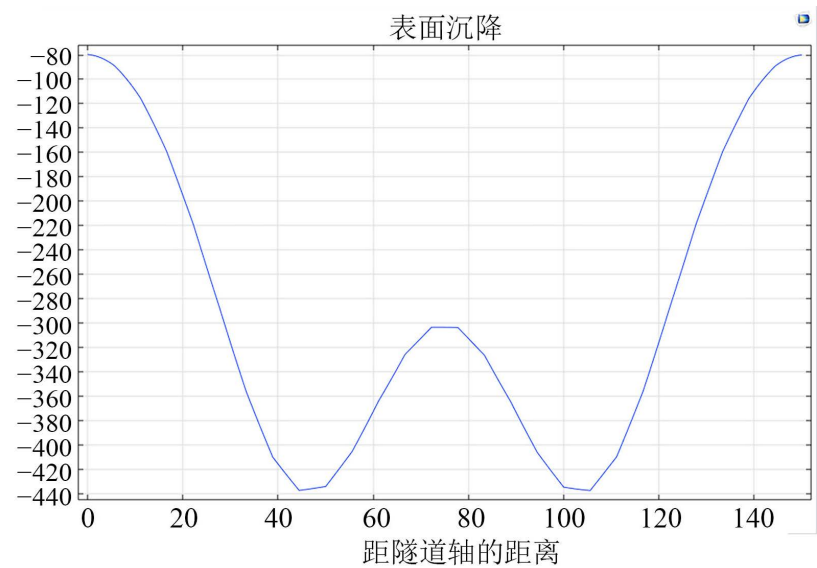


Figure 8. Equivalent plastic strain diagram
图 8. 50 mm 间距开挖后沉降曲线

4. 结论

本文通过 COMSOL 软件对隧洞进行模拟分析，计算出隧洞塑性区域的应力分布和土体开挖后地表的沉降曲线，观测开挖后隧道壁应力发展情况、以及塑性发展情况。结果表明：双椭圆型隧道开挖不会对土体造成过大的影响，隧道开挖模型及其沉降规律可以预测地表的沉降，并处理隧道开挖施工而引起的地基位移，随着隧洞开挖的持续，地表沉降、塑性尺寸的范围也在增大，可以根据应力发展情况找出需要重点观察的区域。总之，大片岩体的工况下开挖隧道而进行的有限元 COMSOI 软件分析，其各项规律发展较为清晰，为今后的研究提供了思路。

参考文献

- [1] 刘宝琛, 张家生. 近地表开挖引起的地表沉降随机介质方法[J]. 岩土力学与工程学报, 1995, 14(4): 289-296.
- [2] 刘宝琛, 林德璋. 浅部隧道开挖引起的地表移动及变形[J]. 地下工程, 1983.
- [3] 张承林. 双线隧道施工对地表沉降的影响数值模拟分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2016(10): 168-171.
- [4] 齐得旭, 傅荣华. 某隧道进口段开挖的力学响应分析[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2015, 34(1): 91-93.
- [5] 党晓宇, 陈蔚, 吴志伟, 唐冉松. 基于 ANSYS 有限元软件的隧道开挖支护数值模拟分析[J]. 常州工学院学报, 2015, 28(3): 11-14.
- [6] 周潇朗, 张长亮, 乔鹏腾. 变质岩区隧道开挖作用下围岩应力场变化及其稳定性分析[J]. 地球科学与环境学报, 2018, 40(4): 497-504.