

文章编号:1005-0523(2019)02-0029-04

上软下硬地层支护与围岩不密贴数值研究

余超,赵秀绍,石钰锋

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:隧道工程中支护与围岩不密贴现象较为普遍。目前对隧道的数值研究大都假定支护与围岩密贴,且不考虑接触面影响。该假定会使得计算结果产生一定的误差。针对这类问题,运用FLAC5.0有限差分软件,以上软下硬地层中浅埋隧道为例,采用接触面单元对支护与围岩不密贴现象进行模拟计算,研究其对隧道稳定性的影响。计算结果表明,采用接触面单元模拟支护与围岩接触,更符合工程实际;当支护与围岩存在间隙时,围岩位移增大较大,支护内力变化不大,能为设计与施工提供更好的指导。

关键词:不密贴;数值分析;接触面;隧道;稳定性

中图分类号:U45

文献标志码:A

隧道施工过程中常常由于开挖难以控制致使钢筋网与围岩不密贴,喷浆不密实,初期支护与围岩间存在空隙,再加上拱背注浆的不及时造成注浆充填滞后于土体的压密,起不到应有的充填作用。目前,在隧道的数值研究中都不考虑该现象,这样往往会使得计算结果与实际结果产生一定的误差^[1]。特别是在上软下硬地层中,由于围岩在施工扰动和地下水的侵蚀作用下,很容易出现掉块现象,仅仅通过喷射混凝土初支难以做到与围岩密贴^[2-6]。在该地层下进行隧道数值模拟,会使得地层位移计算值往往远小于实际测量值。

采用岩土数值分析软件FLAC5.0对上软下硬地层中隧道施工过程进行数值分析^[7-10],并考虑隧道实际施工过程中围岩与支护之间存在不密贴现象,分析研究其对隧道稳定性影响,可为类似工程设计与施工提供参考。

1 模型建立

1.1 边界条件及参数选取

建立一直径6 m,埋深8 m的圆形浅埋隧道模型,假定模型地质条件上软下硬,洞身上部位于软弱地层中,下部位于硬岩地层中。模型X方向取66 m,Y方向取40 m,边界条件为两侧水平单向约束,底部水平竖向双向约束,上表面为自由面,见图1所示。初始应力考虑自重应力场。

土体采用实体单元模拟,支护结构采用梁单元(beam)模拟,土体本构关系取理想摩尔库伦模型,按照平面应变模型进行计算,材料参数选取如表1所示。

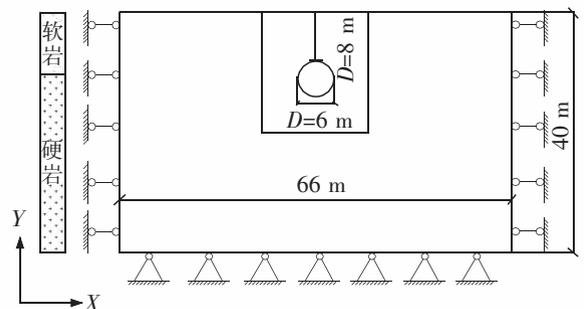


图1 模型示意图

Fig.1 Schematic diagram of model

收稿日期:2018-10-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51668018)

作者简介:余超(1994—),男,硕士研究生,研究方向为隧道与地下工程。

通讯作者:赵秀绍(1978—),男,副教授,博士,研究方向为岩土工程、隧道与铁道工程。

表 1 材料参数表
Tab.1 Material parameter list

材料	密度 $\rho/(kg/m^3)$	弹模 E/MPa	泊松比 ν	粘聚力 c/MPa	摩擦角 $\varphi/(^\circ)$
软岩	1 700	30	0.27	10	21
硬岩	2 200	1 000	0.22	200	40
支护结构	2 400	2 300	0.20	-	-

1.2 模拟步骤及工况

为简化计算,假定隧道全断面开挖,考虑施工中空间及时间效应,分两步计算平衡:① 隧道开挖后应力释放 30%;② 施做衬砌,应力释放完全。

为分析接触面对隧道稳定性的影响,进行如下 3 种工况的模拟。① 工况 1:不考虑接触面的影响,支护结构和岩层共节点;② 工况 2:考虑接触面的影响,假定支护结构与围岩密贴;③ 工况 3:考虑接触面的影响,假定上部软岩地层中支护结构和围岩之间存在 5 cm 的间隙。

接触单元的参数按 FLAC5.0 说明方法计算选取,具体取值:法向刚度(k_n)及切向刚度(k_s)为 7.2×10^8 Pa/m,摩擦角为 10° 。

2 计算结果分析

2.1 竖向位移分析

3 种工况下,围岩的竖向位移云图如图 2 所示。

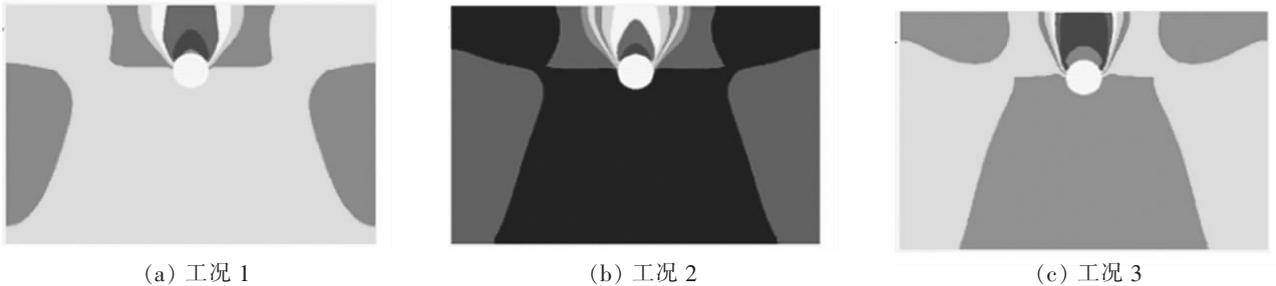


图 2 各工况围岩竖向位移云图

Fig.2 Vertical displacement cloud pattern of surrounding rock under different working conditions

从图 2 可以看出,在上软下硬地层中开挖隧道,硬岩部分位移远小于软岩部位,隧道底部隆起量很小。3 种工况拱顶最大沉降分别为 1.36, 2.03, 6.75 cm, 说明接触面单元对围岩的竖向位移有一定影响,其位移最大值增长约 49%。当支护与围岩中存在间隙时,围岩沉降值大大增长,最大值增长达 396%。

图 3 地表沉降曲线表明,3 种工况下影响范围基本相同,工况 2 地表沉降大于工况 1,说明支护结构和围岩共节点的假定计算偏危险,考虑支护与围岩接触更接近工程实际。工况 3 地表沉降远大于工况 1,工况 2,说明当支护与围岩存在间隙时,地表沉降将大大增大。因此,施工中尽量减少对围岩的扰动次数及程度,控制超挖量,保证拱架背后混凝土喷射密实,二衬完成后及时进行压浆处理,并保证压浆密实。

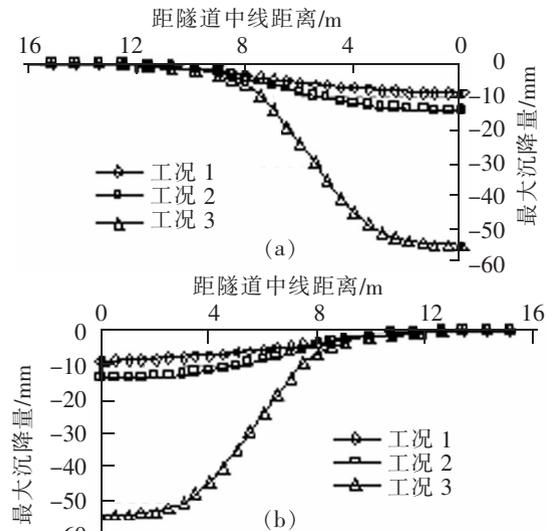


图 3 各工况地表沉降曲线

Fig.3 Ground settlement curves under different working conditions

2.2 剪应变场分析

3 种工况对围岩扰动情况不同,详见图 4 所示。

由图 4 可见,当支护结构与围岩之间不存在间隙时,是否考虑支护与围岩接触对围岩扰动影响不大,考虑支护与围岩接触后剪应变增量由 6×10^{-3} 增至 9×10^{-3} ,仍在一个量级上,扰动范围稍有增长。当支护与围岩存在间隙时,围岩扰动范围有较大增长,有连通地表的趋势,剪应变增量增长了一个量级,达 4×10^{-2} 。说明支护与围岩不密贴,对围岩扰动很大。

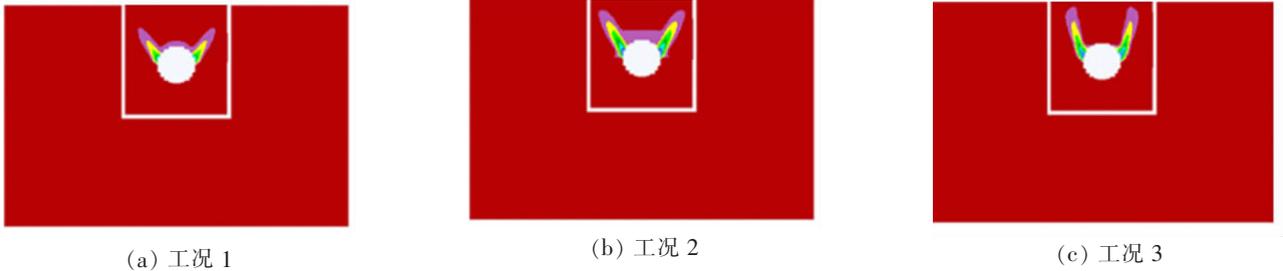


图 4 各工况围岩剪应变云图

Fig.4 Shear strain nephogram of surrounding rock under different working conditions

2.3 支护内力

对所列 3 种工况进行对比分析,支护弯矩如图 5 所示。从图 5 可见,3 种工况支护弯矩规律有较大差异,工况 1 上部软岩中支护弯矩较大,下部硬岩中弯矩则很小;工况 2 上部软岩和下部硬岩中支护弯矩都较大;工况 3 上部软岩中支护弯矩比下部硬岩中弯矩大,规律和工况 1 类似。3 种工况支护弯矩最大值分别为 29.1,26.9,28.8 kN·m,总体上相差不大。考虑接触面影响时,支护弯矩有所减小,当支护与围岩存在间隙时,支护弯矩稍有增长,和工况 1 相当。为此,针对上软下硬地层,上部软岩中支护强度在考虑接触面影响计算值的基础上适当增强,下部硬岩中支护强度可适当减弱。

支护结构内力最大值的比较如表 2 所示。

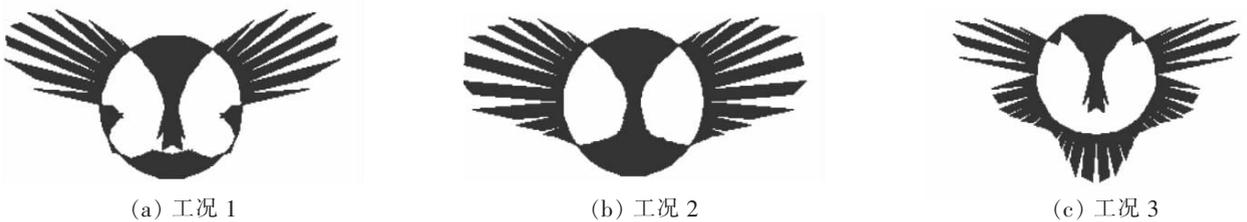


图 5 各工况围岩支护弯矩

Fig.5 Shear strain nephogram of surrounding rock support bending moment

表 2 各工况支护内力最大值

Tab.2 Maximum internal force of bracing under different working conditions

工况	弯矩最大值/(kN·m)	最大轴力值/kN
工况 1	29.1	309.6
工况 2	26.9	241.7
工况 3	28.8	244.7

由表 2 可知,3 种工况下内力值各不相同,支护轴力最大值分别为 309.6,241.7,244.7 kN。对比工况 1,工况 2 可以看出,考虑支护与围岩接触时支护轴力相对减小约 12%;对比工况 1,工况 3 可知,当支护与围岩

存在间隙时,支护最大轴力值变化不大。

3 结论

通过对3种工况进行对比分析,可以得出以下结论。

1) 在隧道施工过程数值模拟中,考虑支护与围岩间的接触,围岩竖向位移增大,扰动程度及区域增大,支护内力稍有减小,不考虑支护与围岩接触影响的计算偏于不安全。

2) 若支护与围岩之间不密贴,虽然对支护内力变化不大,但会使得围岩沉降、扰动程度及区域范围扩大,从而使隧道稳定性大大降低。

3) 通过数值模拟方法,针对上软下硬地层隧道施工方案,可在设计上提出对应的上部软弱地层预加固措施,下部支护强度适当减弱;施工中应控制超挖量,保证拱架背后混凝土喷射密实,二衬完成后及时进行压浆处理,保证衬砌与围岩密贴,降低由于隧道不稳定因素造成的安全问题发生。

参考文献:

- [1] 王建秀,刘无忌,邓沿生,等. 地下工程设计与施工中复合地层的研究进展[J]. 人民长江,2018,49(10):47-53.
- [2] 周力军,张孟喜,等. 广州上软下硬复合地层中盾构隧道施工影响分析[J]. 铁道标准设计,2018,62(10):113-117.
- [3] 韩刚. 上软下硬地层暗挖地铁车站围岩变形规律研究[J]. 建筑结构,2018,48(S1):778-782.
- [4] 赵宗智,荆敏,王旭. 上软下硬地层V级围岩超浅埋隧道开挖技术[J]. 铁道建筑,2017(7):81-84.
- [5] 尚艳亮,隆卫,刘宝奎,等. 上软下硬大跨隧道变形数值分析与规律研究[J]. 公路,2017,62(9):262-267.
- [6] 朱宏海. 上软下硬复合地层地铁盾构隧道设计及施工探析[J]. 隧道建设,2015,35(2):144-148.
- [7] 徐干成,白洪才,郑颖人,等. 地下工程支护结构[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008:8-45.
- [8] 朱维申,何满潮. 复杂条件下围岩稳定性与动态施工力学[M]. 北京:科学出版社,1996:1-55.
- [9] 王思敬. 地下工程岩体稳定性分析[M]. 北京:科学出版社,1984:181-188.
- [10] 孙钧. 地下结构有限元法解析[M]. 上海:同济大学出版社,1988:256-289.

Numerical Study on Influence of Supporting in Soft Foundation and Surrounding Rocks on Tunnel Stability

Yu Chao,Zhao Xiushao,Shi Yufeng

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In tunnel engineering, the disconnection of supporting and surrounding rocks is common. At present, most of the numerical studies of tunnels have assumed that supporting and surrounding rocks are closely connected without considering the influence of contact surfaces, which may lead to certain errors in the calculation results. In order to solve such problems, FLAC5.0 finite difference software was used to simulate and calculate the disconnection between supporting and surrounding rocks in shallow-buried tunnel in soft and hard stratum. The influencing factors of tunnel stability were analyzed. The calculation results show that the contact surface element is more suitable for simulating the contact between supporting and surrounding rocks. When there is a gap between supporting and surrounding rocks, the displacement of surrounding rocks increases greatly while the internal force of supporting has no remarkable differences, which can provide better guidance for design and construction.

Key words: disconnection; numerical analysis; contact surface; tunnel; stability