

文章编号:1672-3961(2008)01-0066-04

含两个圆形孔洞岩盐路基稳定性的数值分析

张波¹, 李术才¹, 杨学英², 王锡平³, 张敦福³

(1. 山东大学岩土与结构工程研究中心, 山东 济南 250061;

2. 山东城市建设职业学院, 山东 济南 250014; 3. 山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061)

摘要:用无网格伽辽金法(EFGM)按平面应变问题对含两个圆形孔洞的岩盐路基进行稳定性分析,给出了针对不同孔洞埋深的临界载荷.数值结果表明,EFGM对于解决含两个孔洞的应力集中问题是有效且灵活的.

关键词:岩盐路基;两个孔洞;稳定性;无网格伽辽金法

中图分类号:0319.56 **文献标志码:**A

Numerical analysis on the stability of a rock-salt roadbed with two circular cavities

ZHANG Bo¹, LI Shu-cai¹, YANG Xue-ying², WANG Xi-ping³, ZHANG Dun-fu³

(1. Geotechnical and Structural Engineering Research Center, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Shandong Urban Construction Vocational College, Jinan 250014, China; 3. School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: The stability of a rock-salt roadbed with two circular cavities is analyzed as a planar strain stress problem with the element-free Galerkin method(EFGM). The critical loads were presented for the cavities at different depth. The numerical results show that EFGM is not only effective but also flexible for a stress intensity problem with two cavities.

Key words: rock-salt roadbed; two circular cavities; stability; EFGM

0 引言

盐湖地区的路基工程以及盐矿的开发中都会遇到岩盐的力学性质及稳定性问题.在盐湖公路上所作用的荷载主要是车辆所引起的荷载,单从力学角度来说,连续的岩盐强度完全能够满足工程需要.岩盐的特殊性在于,岩盐所含的可溶盐遇水溶解形成孔洞,盐溶暗洞埋藏于盐层内,常规检查难以发现,而且岩盐未经地质成岩作用,晶间之间联结较弱,当洞顶盐层减小到一定厚度时,在汽车荷载作用下将产生突然塌陷,直接危及行车安全.因此,解决含孔洞岩盐体的受力变形及失稳规律对岩盐公路路基的稳定性评价及加固具有指导意义.国内外一些学者

主要针对岩盐材料的物理力学性质进行了一些研究^[1-3],还有一些学者针对盐矿开发中岩盐溶腔的受力展开了研究^[4-5],但目前尚无针对含孔洞岩盐路基稳定性的专门研究.

无网格伽辽金法(EFGM)^[6]是近年来新兴的一种数值计算方法,它对于近似函数的构造不依赖于网格,易于后处理.岩盐路基中经常发育着很多孔洞,进行含孔洞岩盐路基的稳定性分析时应该充分考虑多个孔洞同时存在的叠加作用.鉴于此,本文用EFGM按平面应变问题对含有两个圆形孔洞的岩盐路基进行了稳定性分析,使用Matlab自编程序进行数值计算,得出了针对不同孔洞埋深的临界载荷曲线.结果表明,EFGM对于含有两个孔洞的应力集中问题是有效且灵活的.

收稿日期:2006-09-05

基金项目:国家自然科学基金面上项目(50574053)

作者简介:张波(1977-),男,山东淄博人,博士研究生,研究方向为大跨度结构与地基的相互作用.

E-mail: zhangbosdchina@163.com

1 含两个圆形孔洞时的稳定性分析

1.1 含单个圆形孔洞时稳定性分析方法及结果

如图1所示,路基模型尺寸 $L = H = 5 \text{ m}$, 圆孔半径为: $a = 0.25 \text{ m}$;

试验测得岩盐材料力学参数^[4]如下.

$$E = 40 \text{ MPa}, \mu = 0.26;$$

单轴抗压强度: $\sigma_c = 2 \text{ MPa}$;

单轴抗拉强度: $\sigma_b = \frac{1}{12} \sigma_c = 1.67 \times 10^5 \text{ Pa}$.

含单个圆形孔洞时稳定性判别如下.

由计算可知,孔洞上方节点出现较大拉应力,为最危险受力点,其最可能的破坏形式为拉裂破坏,我们用材料力学第一强度理论对其稳定性进行判别.

$\sigma_1 = \sigma_b$ (σ_b 为岩盐的单轴抗拉强度).

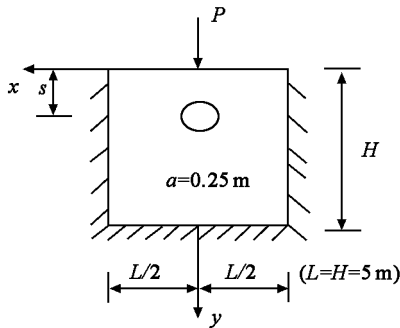


图1 含有单个孔洞的半平面体表面作用法向集中力
Fig.1 The surface normal concentrated force of semi-plane plate with single cavity

极限载荷的确定如下.

例如当孔洞埋深 $s = 1.25 \text{ m}$ 时,

取 $P = 23.1 \text{ t}$ 时,由 EFGM 计算得,

$$\sigma_1 = 1.665 \times 10^5 \text{ Pa} < \sigma_b, \text{安全};$$

取 $P = 23.2 \text{ t}$ 时,由 EFGM 计算得,

$$\sigma_1 = 1.672 \times 10^5 \text{ Pa} > \sigma_b, \text{破坏}.$$

可见,孔洞埋深 $s = 1.25 \text{ m}$ 时相应的临界载荷为 $P_{cr} = 23.1 \text{ t}$.用同样的方法,我们可以用 EFGM 计算出不同孔洞埋深下相应的临界载荷,如表1所示.

表1 不同孔洞埋深下相应的极限载荷

Table 1 The critical loads for the cavities at different depth

S/m	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75
P_{cr}/t	17.0	23.1	27.5	36.8	45.5	55.0	68.0	82.6

1.2 含两个圆形孔洞时的稳定性分析

分别计算两孔洞中心在同一水平直线及同一竖向直线上的受力情况,以最靠近荷载作用点的孔洞为危险受力孔洞,该孔洞上方节点为危险受力点.

1.2.1 两孔洞中心在同一条竖向直线上

如图2所示,设上方孔洞位置固定,其中心位于地面以下 $s_1 = 1.25 \text{ m}$ 深度处.下方孔洞的位置可以沿竖向轴线 y 轴移动,但孔洞中心始终位于 y 轴上.

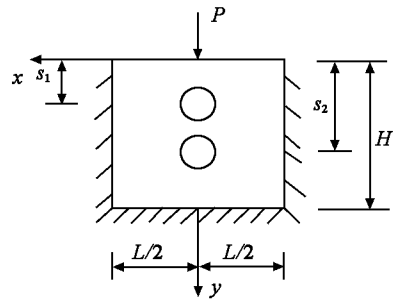


图2 含有两个竖向孔洞的 EFGM 计算模型
Fig.2 The EFGM model for the center of two circular cavities in the same vertical line

图3及图4分别为用 EFGM 计算时采用的节点及 Gauss 积分点分布.图5同时绘出了单孔与竖向双孔(下方孔洞埋深 $s_2 = 3.25 \text{ m}$)情况下的受力情况以做比较.表2给出了不同竖直孔洞中心距下上方孔洞危险受力点的应力值.

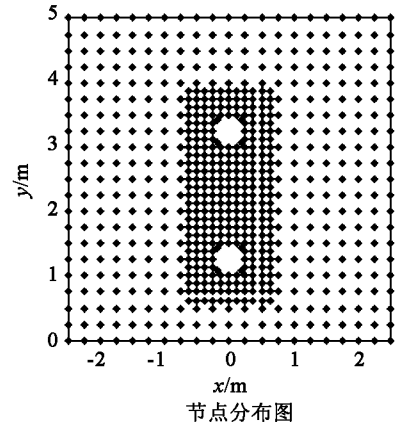


图3 EFGM 计算竖向双孔时采用的节点分布
Fig.3 Node arrangement for the EFGM computation of the center of two circular holes on the same vertical line

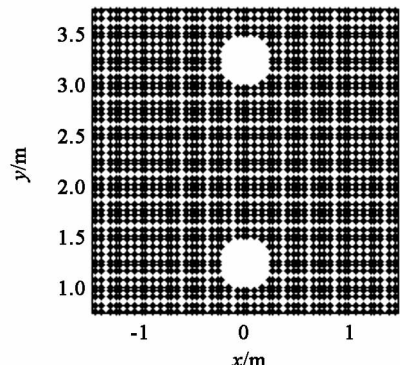


图4 EFGM 计算竖向双孔时采用的 Gauss 积分点分布
Fig.4 Gauss integral point arrangements by EFGM for the center of two circular holes on the same vertical line

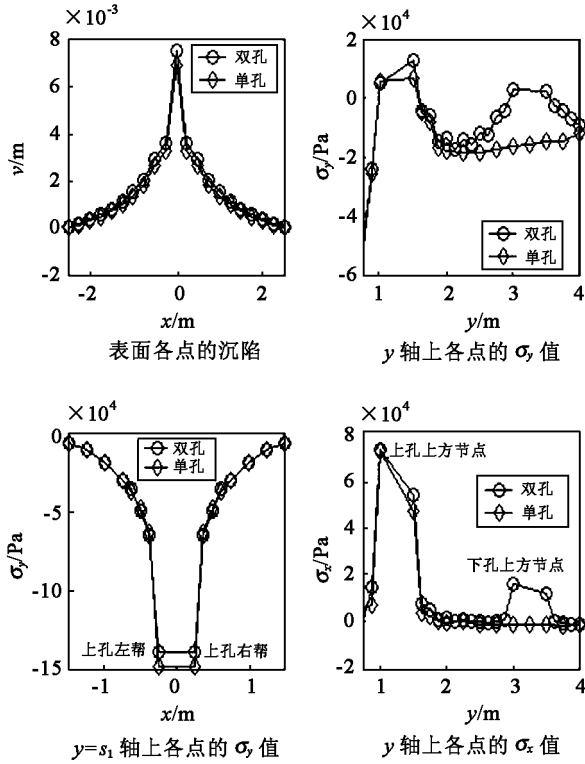


图 5 EFGM 单孔与竖向双孔情况的比较

Fig.5 Comparison of single hole and the two holes whose centers on the same vertical line by EFGM

表 2 上孔危险受力点的应力值($P = 10\text{ t}$)

Table 2 The stress of the dangerous point in the upper hole($P = 10\text{ t}$)

上下两孔中心距/m	上孔上方节点 σ_x 值/(10^4 Pa)
0.00(单孔)	7.208
0.75	7.035
1.00	7.082
2.00	7.282

由图 5 及表 2 可以看出,对于我们所关心的孔洞而言,当其正下方存在另一孔洞时,对该孔洞危险点(孔洞上方节点)的受力影响很小,可以忽略其存在.稳定性判别与单个孔洞情况一致.

1.2.2 两孔洞中心在同一条水平直线上

如图 6 所示,设左方孔洞的位置固定,其中心位

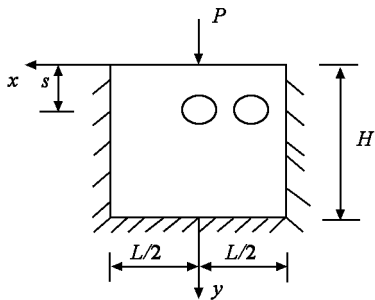


图 6 含有两个水平孔洞的 EFGM 计算模型

Fig.6 The EFGM computation model for the center of two circular holes on the same horizontal line

于 y 轴上地面以下 $s_1 = 1.25\text{ m}$ 深度处.右方孔洞的位置可以沿水平线移动,但孔洞中心始终位于左方孔洞中心所在的水平线上.

图 7 与图 8 分别为用 EFGM 计算时采用的节点及 Gauss 积分点分布图.

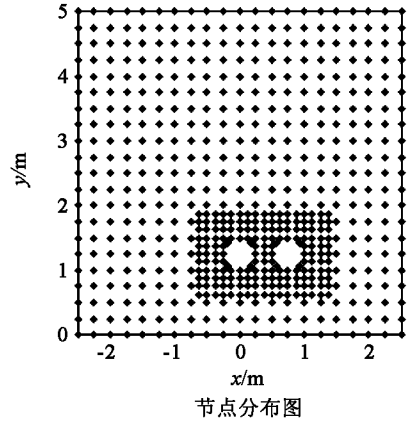


图 7 EFGM 计算水平双孔时采用的节点分布
Fig.7 Node arrangements of EFGM computation with the center of two circular holes on the same horizontal line

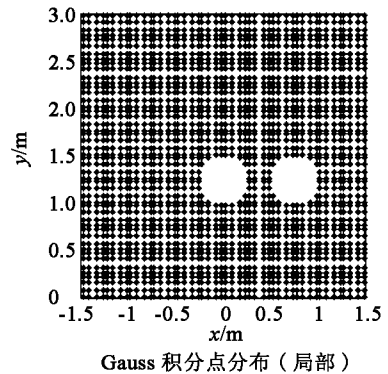


图 8 EFGM 计算水平双孔时采用的 Gauss 积分点分布
Fig.8 Gauss integral point arrangements of EFGM computation for the center of two circular holes on the same horizontal line

表 3 给出了不同水平孔洞中心距下竖向轴线上孔洞危险受力点的应力值.

图 9 绘出了右方孔洞与左方孔洞中心距为 0.75 m 时用 EFGM 计算的结果,同时绘出了单孔情况下危险点受力情况以做比较.

表 3 y 轴上孔洞危险受力点的应力值($P = 10\text{ t}$)

Table 3 The stress of the dangerous point in the hole which lies in the y label($P = 10\text{ t}$)

左右两孔中心距/m	y 轴孔上方节点 σ_x 值/(10^4 Pa)
0.00(单孔)	7.208
0.75	9.083
1.25	8.145
1.5	7.939
1.75	7.810

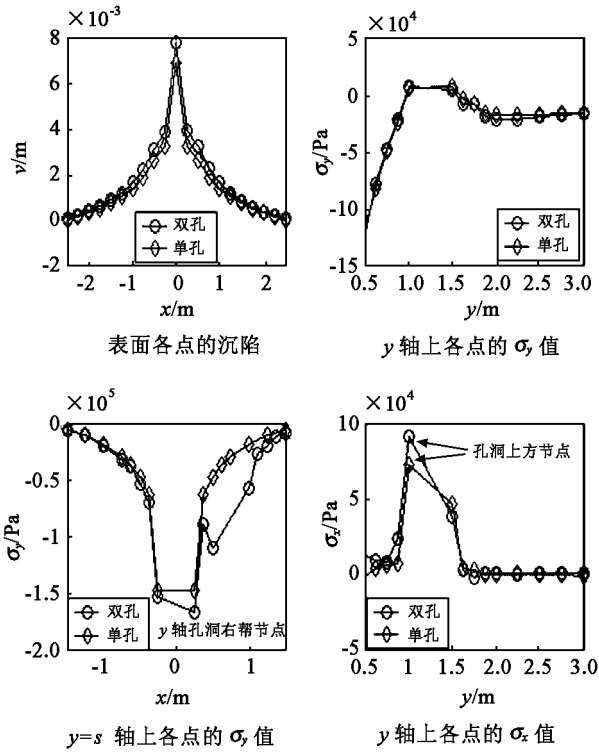


图 9 EFGM 单孔与水平双孔情况的比较
 Fig.9 The comparison of the single hole and the double holes whose centers are on the same horizontal line by EFGM computation

由图 9 及表 3 可以看出,对于我们所关心的孔洞而言,当其水平方向存在另一孔洞时,对该孔洞危险点的受力有一定影响,不能忽略其存在,但由表 3 可以看出,当两孔中心距超过一定距离时,如该例为 6 倍孔洞半径时,危险点的受力与单个孔洞时相差不大。

对于水平双孔情况,仍然采用单孔判别时的最大拉应力理论,认为位于 y 轴上的孔洞上方节点达到极限抗拉强度而破坏.用与单孔时相同的稳定性判别方法,得出不同孔洞埋深时相应的极限载荷,并绘制极限载荷曲线图如图 10 所示.图中同时绘出了单个圆孔时的极限载荷以作比较。

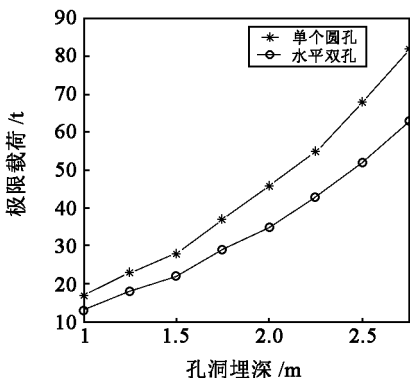


图 10 极限载荷曲线图
 Fig.10 The curve of the ultimate loads

2 结论

EFGM 是一种新兴的计算方法,有其自身的优点,但目前在工程实际问题中的应用并不多见.本文的数值结果表明,EFGM 对于解决含多个孔洞的应力集中问题,不仅是有效的,而且是灵活的。

对含两个圆形孔洞的岩盐路基稳定性问题研究发现,对于我们所关心的孔洞而言,当其正下方存在另一孔洞时,对该孔洞危险点的受力影响很小,可以忽略其存在;而当其左右方向存在另一水平孔洞时对所关心孔洞危险点的受力影响较大。

本文通过对含孔洞岩盐路基进行稳定性分析得出不同孔洞埋深下相应的临界载荷,将对盐湖地区公路地基稳定性的评价与修复加固提供有力的指导。

参考文献:

- [1] SCHULZE O P, TILL K H. Development of damage and permeability in deforming rock salt [J]. Engineering Geology, 2001(61):163-180, 0013-7952.
- [2] HOU Zheng-meng. Mechanical and hydraulic behavior of rock salt in the excavation disturbed zone around underground facilities[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2003(40):725-738,0148-9062.
- [3] 刘成伦,徐龙君,鲜学福.长山岩盐动溶的动力学特征[J].重庆大学学报:自然科学版,2000,23(4):58-59.
LIU Cheng-lun, XU Long-jun, XIAN Xue-fu. Kinetics characteristics of resolving of rock salt of Changshan in dynamic state [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2000, 23(4):58-59.
- [4] 刘成伦,徐龙君,鲜学福.浅埋薄层岩盐溶腔稳定性的数值模拟计算[J].重庆大学学报:自然科学版,2003,26(3):143-146.
LIU Cheng-lun, XU Long-jun, XIAN Xue-fu. Numerical simulation research on stability of dissolving cavityfor the low-depth-thin-layer rock salt[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2003, 26(3):143-146.
- [5] 刘新荣,姜德义,许江,等.岩盐溶腔围岩应力分布规律的有限元分析[J].重庆大学学报:自然科学版,2003,26(2):39-46.
LIU Xin-rong, JIANG De-yi, XU Jiang, et al. FEM analysis of stress distribution law in the rocksalt cavity's surrounding rock [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2003, 26(2):39-46.
- [6] Belytschko T. Element-free Galerkin methods[J]. International Journal of Numerical Methods Engineering, 1994, 37: 229-256.