

裂隙岩体宏观力学参数的二维数值模拟

谢云跃¹, 肖洪天¹, 闫强刚²

(1. 山东科技大学土木工程与建筑学院, 山东省土木工程防灾减灾重点实验室, 山东青岛 266590;

2. 青岛市勘察测绘研究院, 山东青岛 266032)

[摘要] 岩体通常含许多不同尺度的裂隙, 因而力学性质非常复杂。由于现场测试及常规实验室试验常受各种条件的限制, 因而其不能准确反映岩体的宏观物理力学性质。本文基于有限元分析软件对二维情况下的完整岩体和含不同倾角的软弱夹层的岩体在单轴和双轴压缩下进行了数值模拟, 得到岩体变形的应力-应变曲线。该类曲线能反映裂隙对岩体力学参数的影响, 对于指导工程实践有一定的意义, 并且为获取岩体力学参数提供了新的途径。

[关键词] 裂隙岩体 软弱夹层 应力-应变曲线 数值模拟

[中图分类号] P618 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2015)02-0376-07

Xie Yun-yue, Xiao Hong-tian, Yan Qiang-gang. Two-dimensional numerical simulation of macro-mechanical parameters for fractured rock masses[J]. *Geology and Exploration*, 2015, 51(2): 0376-0382.

岩体从变形到破坏是个非常复杂的过程。岩体的力学性质多由实验室试验获得, 由于受财力、物力等诸多条件的限制, 实验室试验只能获得较小岩块的力学参数。大块岩体的力学参数, 及许多与工程结构破坏密切相关的工程力学现象, 如边坡失稳、地下洞室坍塌等, 是很难通过实验室试验进行研究。

裂隙对岩体强度和变形特性的影响是进行岩体稳定性分析的基础, 它对岩体工程的设计、施工及后期维护具有重要意义。目前国内外很多学者对含裂隙岩体的力学性质进行了试验研究与理论分析, 对非贯通节理岩体进行剪切破坏试验研究, 由激光散斑照相技术得到应力、位移, 分析平面应力下脆性岩体的变形和破坏特征, 得出裂隙岩体的初裂强度和贯通破坏强度表达式, 并将计算结果与试验结果进行了对比, 验证所得公式的合理性(白世伟等, 1999); 根据岩体内部存在的裂隙符合 Weibull 分布, 结合最大张应变准则、莫尔-库伦准则等提出了 RFPA (Rock Failure Process Analysis) 方法, 在分析隧洞、边坡、堤坝等岩土工程稳定性问题方面有重大应用

(唐春安等, 2011); 以节理单元为基础提出非线性分析的计算模型, 并考虑法向应力对变形性能的影响(葛修润, 1979); 对含预制孔的石灰岩在简单应力状态下进行 AE 信号采集, 得出能量计数率与微破裂规模之间的关系(Ganne 等, 2007); 利用剪切试验, 研究不同剪切变形历史对节理岩体力学性质的影响(杜守继等, 2006; 李克刚等, 2005; 周小平等, 2002; 田小甫等, 2012); 利用人工浇注素混凝土节理试样进行不同剪切变形速率等情况下的剪切试验, 研究节理破坏模式和刚度特征及其与起伏角、剪切变形速率和法向应力之间的关系(李海波等, 2008; 余子华等, 2005); 运用岩石破裂过程分析系统, 研究岩石介质非均匀性对宏观力学行为的影响(傅宇方等, 2000; 柯长仁等, 2011); 根据强度与变形尺度效应的研究需要, 研究脆性岩石相似模拟材料的配比, 提出预置材料产生模拟节理的方法, 采用分形分布节理模拟材料试件, 研究脆性岩体轴向抗压强度与变形的尺度效应(王谦源等, 2008); 根据锦屏二级水电站大理岩裂隙统计分布规律及岩块和结构面力学特性试验成果, 确定岩块和结构面的本构模型,

[收稿日期] 2014-11-19; **[修订日期]** 2015-01-16; **[责任编辑]** 郝情情。

[基金项目] 山东科技大学科研创新团队(2012KYTD104)、山东科技大学研究生科技创新基金(YC140320)和青岛市建设科技计划项目(JK2014-9)联合资助。

[第一作者] 谢云跃(1991年-), 女, 山东科技大学硕士在读, 主要从事岩体力学数值方法的研究。E-mail: xieyunyue1991@163.com。

建立考虑无厚度裂隙面力学响应的分析模型,研究不同尺寸裂隙岩体的力学响应特征及裂隙岩体变形模量和单轴抗压强度的尺寸效应(陈卫忠等,2008);研究岩石微裂隙的闭合、滑移、扩展以及相互作用的过程,得出裂纹扩展在各阶段引起的宏观变形(肖洪天等,2001);对裂隙交叉和非贯通裂隙进行网格剖分研究,建立随机裂隙岩体网格的生成方法,研究裂隙岩体等效变形模量的尺寸效应和各向异性(杨建平等,2011);用系统方法从定性、定量、可靠度等方面考虑洞室的整体稳定性分析和洞室局部块体的稳定性分析,研究结果对地下洞室围岩稳定性设计及计算有重要的意义(邓声君等,2013;胡夏嵩等,2005)。

由于岩体结构的复杂性,要准确反映岩体结构的特性并使之模型化是不可能的。对于实际工程,往往根据现场地质资料中结构面的结构特性,着重考虑起主要控制作用的节理组的影响。本文采用了数值模拟的方法分别模拟了完整岩块和含 0°、15°、30°、45°软弱夹层岩块在单轴压缩和双轴压缩下的变形情况,得出了其变形、应力-应变曲线等结果,从宏观上描述了软弱夹层对岩体的影响。

1 屈服准则的选取

由于结构面的强度比岩块强度低,对岩体而言,起控制作用的是结构面的强度。本文通过有限元分析软件 ABAQUS6.12 建立含软弱夹层岩块的非线性有限元模型,对岩体进行稳定性分析。材料的本构关系是非线性的,采用理想弹塑性模型,屈服准则采用 M-C 破坏准则:

$$\frac{1}{3}I_1\sin\varphi - \left(\cos\theta_\sigma + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin\theta_\sigma\sin\varphi\right)\sqrt{J_2} + c\cos\varphi = 0$$

式中: I_1 —应力张量第一不变量; J_2 —应力偏量第二不变量; θ_σ —应力洛德角; c —粘聚力; φ —内摩擦角。

ABAQUS 采用的本构模型是经典 M-C 屈服准则的扩展(费康等,2009),采用 M-C 屈服函数,包括粘聚力的各向同性的硬化和软化,但该模型的流动势函数在子午线上的形状为双曲线,在 π 平面上没有尖角,因此势函数完全光滑,确保了塑性流动方向的唯一性。在采用 M-C 屈服准则进行模拟时,材料特征值需要输入:内摩擦角 φ 、粘聚力 c 和剪胀角 ψ ,由于 ABAQUS 中的 M-C 模型采用非关联流动法则,剪胀角的取值需要小于内摩擦角(孔位学等,2009),本文中材料物理力学参数的选取如表 1

所示。

表 1 材料物理力学参数
Table 1 Mechanical parameters of materials for the calculation

材料名称	容重 $\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	弹性模量 E/GPa	泊松比 μ	粘聚力 c/MPa	内摩 擦角 $\varphi/^\circ$	剪胀角 $\psi/^\circ$
岩块	25.0	50	0.3	1.2	40	20
软弱夹层	20.0	10	0.4	0.6	24	12

2 岩块的数值模拟

2.1 完整岩块的模拟

(1) 模型的建立

取 1 m×2 m 的完整岩块,分别在单轴压缩和双轴压缩下对其进行数值模拟,轴向采用位移控制的加载方式,其几何模型和加载方式如图 1 所示,模拟按平面应变问题处理。

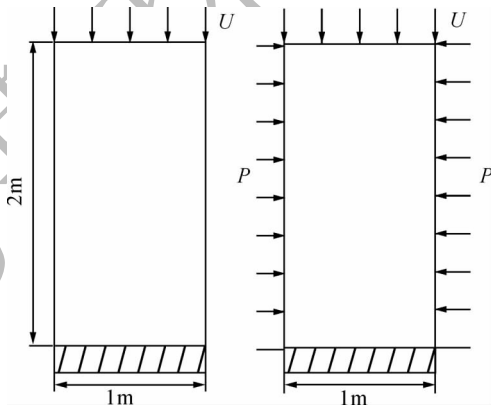


图 1 完整岩块的几何模型和加载方式图
Fig.1 Geometric model and loading ways of intact rock

(2) 单轴压缩下完整岩块的模拟

对完整岩块轴向采用位移控制的加载方式,岩块的轴向应力-应变曲线如图 2 所示。由应力-应变曲线分析可得,完整岩块在单轴压缩载荷作用下随着应力的增加由弹性逐渐转变为塑性,与实验室所得的应力-应变曲线相吻合。

(3) 双轴压缩下完整岩块的模拟

轴向采用位移控制的加载方式,侧向分别对完整岩块施加 1 MPa、3 MPa、5 MPa 和 8 MPa 的均布荷载,轴向应力-应变曲线如图 3 所示。此应力-应变曲线说明岩块强度随着侧向载荷的增加而增加,而岩块的性状随着侧向载荷的增加由脆性转为延性。由此可得,完整岩块在各向等压的情况下,能够承受较大的载荷,不会出现明显的破坏。

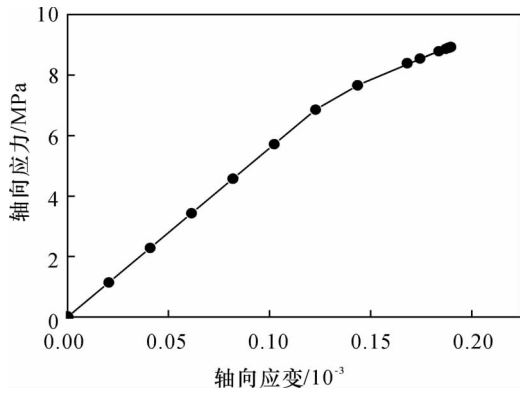


图2 单轴压缩下完整岩块的应力-应变曲线

Fig. 2 Curve of stress-strain under uniaxial compression

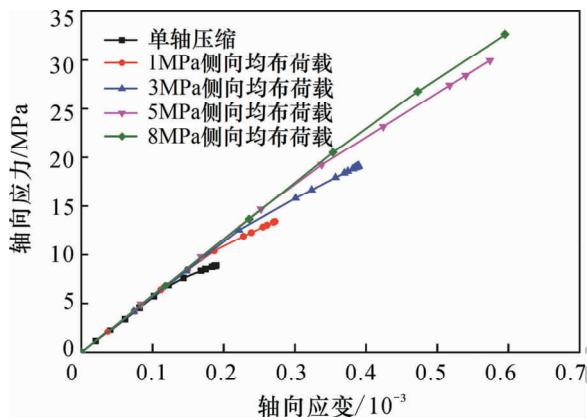


图3 不同侧向均布荷载下的应力-应变曲线

Fig. 3 Curves of stress-strain under different lateral loads

2.2 含不同倾角软弱夹层岩块的模拟

(1) 模型的建立

取 $1\text{ m} \times 2\text{ m}$ 含不同倾角 (0° 、 15° 、 30° 和 45°) 软弱夹层的岩块, 夹层厚度为 0.05 m , 几何模型如图4所示, 对这些岩块分别在单轴压缩和侧向均布荷载作用下进行数值模拟, 模拟按平面应变问题处理。

(2) 单轴压缩下含夹层岩块的模拟

对含不同倾角 (0° 、 15° 、 30° 和 45°) 软弱夹层岩块轴向采用位移控制的加载方式进行加载, 岩块的轴向应力-应变曲线如图5所示。由应力-应变曲线分析可得, 在单轴压缩载荷作用下, 随夹层倾角的增大, 岩块的强度减小。

(3) 双轴压缩下含夹层岩块的模拟

对含不同倾角 (0° 、 15° 、 30° 和 45°) 软弱夹层的岩块轴向采用位移控制的加载方式, 侧向分别施加 1 MPa 、 3 MPa 、 5 MPa 和 8 MPa 的均布荷载, 岩块的轴向应力-应变曲线如图6~11所示。由应力-应

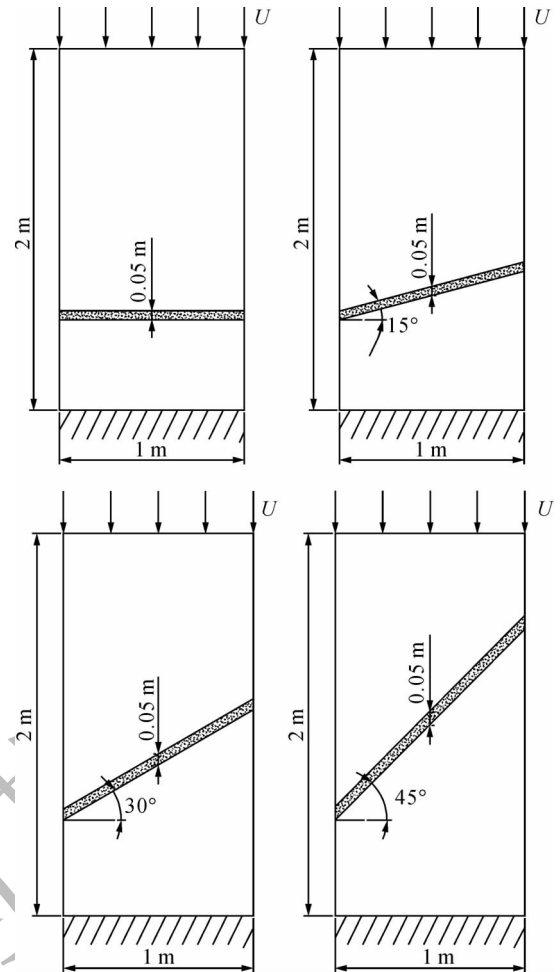
图4 含不同倾角 (0° 、 15° 、 30° 和 45°) 软弱夹层岩块的几何模型

Fig. 4 Geometric model of the rock mass containing weak intercalations with different dipping angles

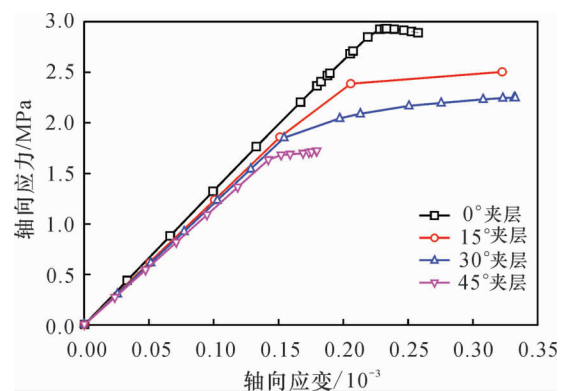


图5 含不同倾角夹层岩块单轴压缩下的应力-应变曲线

Fig. 5 Stress-strain curves of rocks with different angles of weak intercalations under uniaxial compression

变曲线分析可得, 随着侧向均布荷载的增加, 含夹层岩块的强度增大, 而且随着夹层倾角的增大, 岩块的强度减小。对比不同侧向载荷作用下完整岩块与含

夹层岩块的应力-应变曲线发现,完整岩块的强度远大于含夹层岩块的强度,同时说明了含不同倾角的软弱夹层对岩体强度的影响不同。通过比较完整岩块和含不同倾角的软弱夹层岩块在不同侧向载荷作用下的应力-应变曲线发现,曲线的变化趋势基本一致,岩体中软弱夹层的力学效应随侧向载荷的增加而逐渐减小,这与通过颗粒程序数值模型试验(张晓平等,2008)的结果是一致的。

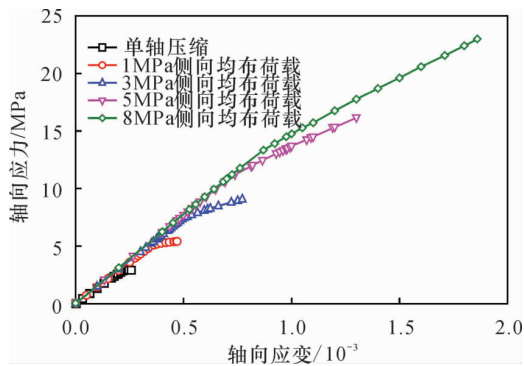


图6 0°夹层岩块在不同载荷下的应力-应变曲线
Fig. 6 Stress-strain curves of the rock mass with weak intercalation 0° under different loads

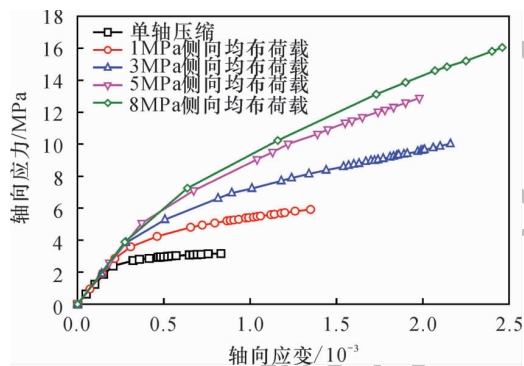


图7 15°夹层岩块在不同载荷下的应力-应变曲线
Fig. 7 Stress-strain curves of the rock mass with weak intercalation 15° under different loads

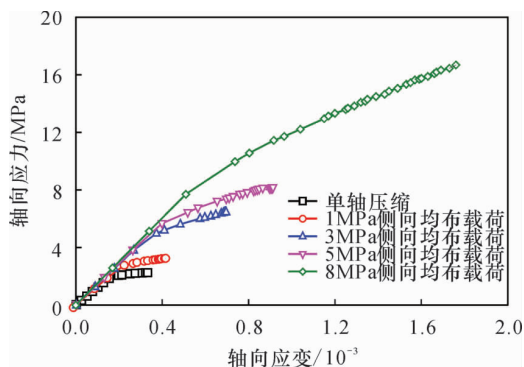


图8 30°夹层岩块在不同载荷下的应力-应变曲线
Fig. 8 The stress-strain curves of the rock mass with weak intercalation 30° under different loads

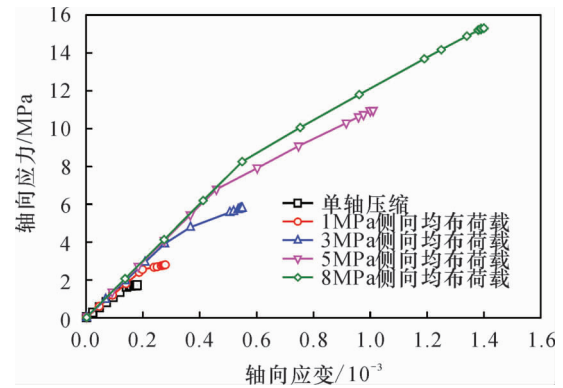


图9 45°夹层岩块在不同载荷下的应力-应变曲线
Fig. 9 Stress-strain curves of the rock mass with weak intercalation 45° under different loads

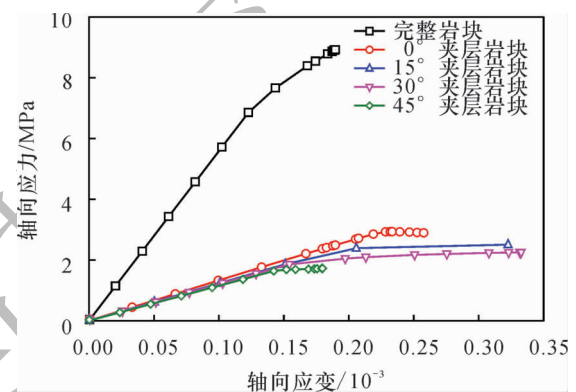


图10 单轴压缩下岩块的应力-应变曲线
Fig. 10 Stress-strain curves of the rock mass under uniaxial compression

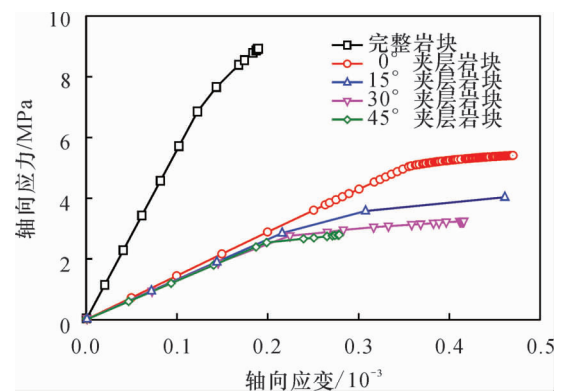


图11 1 MPa侧向均布荷载下岩块的应力-应变曲线
Fig. 11 Stress-strain curves of the rocks under lateral load 1 MPa

2.3 含夹层岩块物理力学参数的计算

由模拟所得的应力应变的数值,以 $\sigma = \sigma_x/2$ 时对应的割线模量作为弹性模量(王渭明等,2010),所计算的结果如表2所示。由计算结果可知,随着

夹层倾角的增大,计算得到的弹性模量逐渐减小;在夹层倾角相同的情况下,随着侧向压力的增大,计算得到的弹性模量逐渐增大。通过比较同一夹层在不同侧向荷载和不同夹层在同一侧向荷载作用下的泊松比的变化曲线(图 12-15),发现泊松比随着侧向压力的增大而不会发生明显的变化,而随着夹层倾角的增大会有轻微的变化,即软弱夹层倾角的变化和侧向荷载的变化对泊松比几乎没有影响。

表 2 岩块的变形模量 (GPa)

Table 2 Deformation modulus of rock mass (GPa)

侧压 MPa	倾角			
	0°	15°	30°	45°
0	13.28	12.29	12.01	11.49
1	14.46	13.20	12.34	11.93
3	15.05	13.69	12.89	12.78
5	15.48	14.08	13.23	13.13
8	15.63	14.21	13.52	13.34

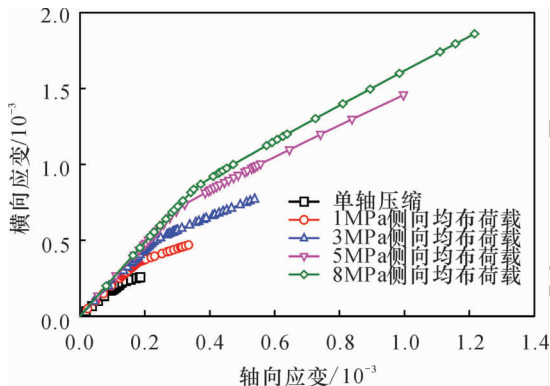


图 12 0°夹层在不同荷载作用下泊松比的变化曲线

Fig. 12 Curves of Poisson's ratio with 0° weak intercalation under different loads

3 结论

(1) 完整岩块在双轴压缩荷载作用下,其屈服强度随着侧向荷载的增大而增大,而岩块的性状随着侧向荷载的增加由脆性转为延性。

(2) 由含不同倾角软弱夹层的岩块的应力应变曲线可见,双轴压缩比单轴压缩时岩块的抗压承载力有了明显的提高,随着侧向均布荷载的增大,岩块的抗剪强度随之增大,岩体中软弱夹层的力学效应逐渐减小。

(3) 比较完整岩块和含不同倾角软弱夹层的岩块的应力-应变曲线发现,完整岩块的强度极限最

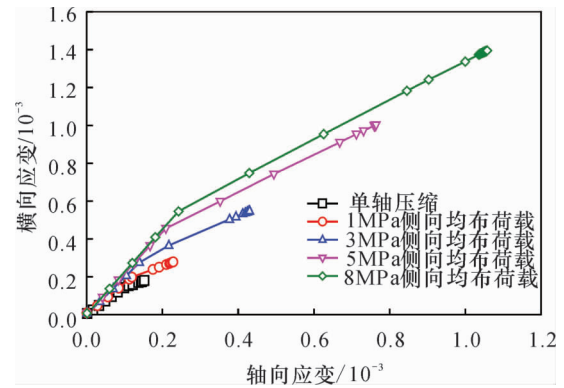


图 13 45°夹层在不同荷载作用下泊松比的变化曲线

Fig. 13 Curves of Poisson's ratio with 45° weak intercalation under different loads

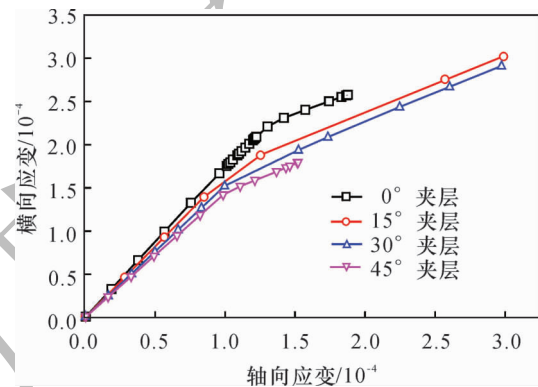


图 14 单轴压缩下不同夹层岩块泊松比的变化曲线

Fig. 14 Curves of Poisson's ratio with weak intercalations under uniaxial compression

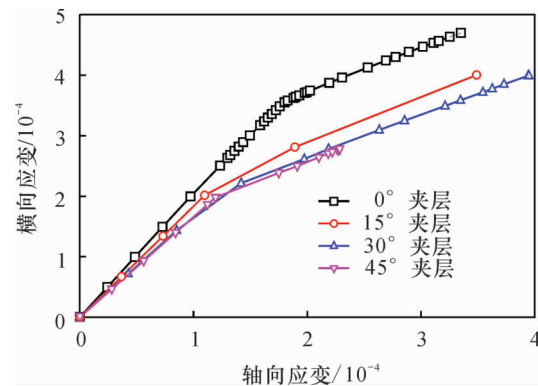


图 15 1 MPa 侧向均布荷载下不同夹层岩块泊松比的变化

Fig. 15 Curves of Poisson's ratio with weak intercalations under 1 MPa lateral load

大,且远大于含软弱夹层岩块的强度。另外,随着软弱夹层倾角的增大,岩块的强度减小。这说明,软弱夹层对裂隙岩体的强度有显著影响,而且不同的裂隙对岩体强度的影响不同。

(4) 由模拟的应力、应变得到岩块弹性模量和泊松比随夹层倾角和侧向荷载变化而变化的规律,

为实际岩土工程中岩块宏观物理力学参数的选取提供一定的依据。

本文基于有限元分析软件对二维情况下完整岩块和含不同倾角软弱夹层岩块进行了数值模拟,得到了岩体的物理力学参数,能为实际工程的物理力学参数的选取提供一定依据。但本文未考虑不同尺寸及三维下复杂的应力状态等因素对岩体的影响,另外,实际工程中含夹层的数目多且情况更复杂,如岩体中往往含孔隙水压力等其他条件,这需要后续进行更深一步的研究。

[References]

- Bai Shi-Wei, Ren Wei-zhong, Feng Ding-xiang. 1999. Failure mechanism and strength properties of rock mass containing close intermittent joints under plane stress condition[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 18(6): 635 – 640(in Chinese)
- Chen Wei-zhong, Yang Jian-ping, Zou Xi-de, Zhou Chun-hong. 2008. Research on macromechanical parameters of fractured rock masses[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 27(8): 1569 – 1574(in Chinese with English abstract)
- Chun'an Tang, Shibin Tang. 2011. Applications of rock failure process analysis (RFPa) method[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 3(4): 352 – 372
- Deng Sheng-jun, Lu Xiao-min, Huang Xiao-yang. 2013. A brief summary of analysis methods for the stability of underground surrounding rock masses[J]. Geology and Exploration, 49(5): 0541 – 0547(in Chinese with English abstract)
- Du Shou-ji, Zhu Jian-dong, Zhi Hong-tao. 2006. Shear tests on rock joints under different shear deformation histories[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 25(1): 56 – 60(in Chinese with English abstract)
- Fei Kang, Zhang Jian-wei. 2009. Application of ABAQUS in Geotechnical Engineering[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press: 67 – 77(in Chinese with English abstract)
- Fu Yu-fang, Liang Zheng-zhao, Tang Chun-an. 2000. Numerical simulation on influence of mesoscopic heterogeneity on macroscopic behavior of rock failure[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 22(6): 705 – 710(in Chinese with English abstract)
- Ganne P, Vervoort A, Wevers M. 2007. Quantification of pre-peak brittle damage: Correlation between acoustic mission and observed micro fracturing[J]. Int J Rock Mech Min Sci, 44(5): 720 – 729
- Ge Xiu-run. 1979. Mechanical behaviors and analog analytical method of joint and weak intercalations in rock mass[J]. Rock and Soil Mechanics, 1(1): 54 – 75(in Chinese with English abstract)
- Hu Xia-song, Zhao Fa-suo. 2005. Numerical simulation on characteristics of shear stress of surrounding rockmass of underground excavation in low ground stress regions[J]. Geology and Exploration, 41(1): 84 – 88(in Chinese with English abstract)
- Ke Chang-ren, Jiang Jun-ling, Ge Xiu-run, Xiao Ben-lin. 2011. Numerical simulation on influence of heterogeneity on macroscopic fracture process of rock failure[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 30(2): 4093 – 4098(in Chinese with English abstract)
- Kong Wei-xue, Rui Yong-qin, Dong Bao-di. 2009. Determination of dilatancy angle for geomaterials under non-associated flow rule[J]. Rock and Soil Mechanics, 30(11): 3278 – 3282(in Chinese with English abstract)
- Li Hai-bo, Feng Hai-peng, Liu Bo. 2006. Study of strength behavior of rock joints under different shearing deformation velocities[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 25(12): 2435 – 2440(in Chinese with English abstract)
- Li Ke-gang, Xu Jiang, Li Shu-chun. 2005. Study on property of rock mass discontinuity shear strength in Three Gorges reservoir area[J]. Rock and Soil Mechanics, 26(7): 1063 – 1067(in Chinese with English abstract)
- Tian Xiao-fu, Sun Jin-zhong, Liu Li-peng, Zheng Xiao-yan, Jia Lei. 2012. Numerical simulation of the influence of structural planes on seismic motion on rock slopes[J]. Geology and Exploration, 48(4): 0840 – 0846(in Chinese with English abstract)
- Wang Qian-yuan, Li Ye. 2008. Experimental study of scale effects in strength and deformation of fractal-joint rock masses[J]. Rock and Soil Mechanics, 29(5): 1325 – 1328(in Chinese with English abstract)
- Wang Wei-ming, Yang Geng-she, Zhang Xiang-dong, Ye Hong-dong. 2010. Rock Mechanics[M]. Beijing: China University of Mining and Technology Press: 38 – 42(in Chinese with English abstract)
- Xiao Hong-tian, Zhou Wei-yuan. 2001. A Mesoscopic Model of Deformation and Failure for Brittle Rocks[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 20(2): 151 – 155(in Chinese with English abstract)
- Yang Jian-ping, Chen Wei-zhong. 2011. Study of scale effect of deformation modulus of fractured rock mass-part I: Finite element method[J]. Rock and Soil Mechanics, 32(5): 1538 – 1545(in Chinese with English abstract)
- Yu Zi-hua, Yan E-chuan, Yang Chang-bin. 2005. Model test research on multiple sliding failure of a jointed rock mass[J]. Rock and Soil Mechanics, 26(Suppl): 77 – 81(in Chinese with English abstract)
- Zhang Xiao-ping, Wu Shun-chuan, Zhang Zhi-zeng, Hu Bo. 2008. Numerical simulation and analysis of failure process of soil with weak intercalated layer[J]. Rock and Soil Mechanics, 29(5): 1200 – 1205(in Chinese with English abstract)
- Zhou Xiao-ping, Zhang Yong-xing. 2002. Study on property of acoustic emission straight shearing test of rock joint in Dachang Tongkeng mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 21(5): 724 – 727(in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 白世伟,任伟中,丰定祥. 1999. 平面应力条件下闭合断续节理岩体破坏机制及强度特性[J]. 岩石力学与工程学报, 18(6): 635 – 640
- 葛修润. 1979. 岩体中节理面、软弱夹层等的力学性质和模拟分析方法(1)[J]. 岩土力学, 1(1): 54 – 75
- 田小甫,孙进忠,刘立鹏,郑小燕,贾雷. 2012. 结构面对岩质边坡地震动影响的数值模拟研究[J]. 地质与勘探, 48(4): 0840 – 0846

- 胡夏嵩,赵法锁. 2005. 低地应力区地下洞室开挖围岩剪应力静态数值模拟研究[J]. 地质与勘探,41(1): 84-88
- 杜守继,朱建栋,职洪涛. 2006. 岩石节理经历不同变形历史的剪切实验研究[J]. 岩石力学与工程学报,25(1): 56-60
- 李克刚,许江,李树春. 2005. 三峡库区岩体天然结构面抗剪性能实验研究[J]. 岩土力学,26(7):1063-1067
- 周小平,张永兴. 2002. 大厂铜坑矿细脉带岩体结构面直剪试验中声发射特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,21(5): 724-727
- 李海波,冯海鹏,刘博. 2006. 不同剪切速率下岩石节理的强度特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 25(12): 2435-2440
- 余子华,晏鄂川,杨昌斌. 2005. 节理化岩体复合式滑动破坏的模型实验研究[J],岩土力学,26(增):77-81
- 傅宇方,梁正召,唐春安. 2000. 岩石介质细观非均匀性对宏观破裂过程的影响[J],岩土工程学报,22(6): 705-710
- 柯长仁,蒋俊玲,葛修润,肖本林. 2011. 岩石介质非均质性对破裂过程的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报,30(2):4093-4098
- 王谦源,李晖. 2008. 分形节理岩体强度与变形尺度效应的实验研究[J]. 岩土力学,29(5):1325-1328
- 陈卫忠,杨建平,邹喜德,周春宏. 2008. 裂隙岩体宏观力学参数研究[J]. 岩石力学与工程学报, 27(8): 1569-1574
- 肖洪天,周维垣. 2001. 脆性岩石变形与破坏的细观力学模型研究[J]. 岩石力学与工程学报,20(2): 151-155
- 杨建平,陈卫忠,戴永浩. 2011. 裂隙岩体变形模量尺寸效应研究 I: 有限元法[J]. 岩土力学, 32(5): 1538-1545
- 邓声君,陆晓敏,黄晓阳. 2013. 地下洞室围岩稳定性分析方法简述[J]. 地质与勘探,49(3): 0541-0547
- 费康,张建伟. 2009. ABAQUS 在岩土工程中的应用[M]. 北京:中国水利水电出版社:67-77
- 孔位学,芮勇勤,董宝弟. 2009. 岩土材料在非关联流动法则下剪胀角选取探讨[J]. 岩土力学,30(11): 3278-3282
- 王渭明,杨更社,张向东,叶洪东. 2010. 岩石力学[M]. 北京:中国矿业大学出版社:38-42
- 张晓平,吴顺川,张志增,胡波. 2008. 含软弱夹层土样变形破坏过程细观数值模拟及分析[J]. 岩土力学,29(5): 1200-1205

Two-Dimensional Numerical Simulation of Macro-Mechanical Parameters for Fractured Rock Mass

XIE Yun-yue¹, XIAO Hong-tian¹, YAN Qiang-gang²

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Shandong Key Lab of Civil Engineering

Disaster Prevention & Mitigation, Shandong Univ. of Sci. & Tech., Qingdao, Shandong 266590;

2. Qingdao Institute of Surveying and Mapping, Qingdao, Shandong 266032)

Abstract: Fractured rock masses have complicated mechanical properties because they contain microscopic defects of various scales. Their macro-mechanical properties could hardly be depicted through in-situ and lab tests which are generally limited by experimental conditions. This study used the finite element analysis software to simulate the axial and biaxial compression of intact rock and rock with weak interlayers of different dipping angles. The stress-strain curves obtained are in very good agreement with the conventional laboratory results. This indicates that the numerical simulation could provide some insights for the macro-mechanical properties of fractured rocks in geotechnical engineering.

Key words: fractured rock mass, weak intercalation, stress-strain curve, numerical simulation