

文章编号:1009-6825(2006)03-0097-02

直剪条件下节理岩体的变形和强度特征研究

黄杰安 曹 平 臧兴震

摘 要:通过建立单一闭合水平节理岩体的数值模型,运用数值模拟软件对节理岩体模型在直剪试验条件下节理的剪切变形和强度特征进行模拟,并对模拟结果做了分析。

关键词:直剪,剪切强度,节理岩体,模拟

中图分类号:TU452

文献标识码:A

引言

在岩体工程中,影响岩体工程稳定性的一个重要因素是岩体的力学特性,即它的强度和变形特性,合理评价节理岩体的强度和变形特征对于岩土工程中边坡、地下开挖和锚固系统的场地选择、设计、施工十分重要,而天然岩体的力学性质在很大程度上为断层、节理这样一些地质构造面所控制^[1,2],节理岩体的变形和破坏以沿节理面为主,因而,节理的变形和剪切强度是节理岩体最主要的力学性质。国际岩石力学学会推荐的选择合适的节理变形和强度参数的方法是:比较从现场原位试验获得的相似节理的力学参数,即工程类比法;由于试验设备和仪器以及测试费用的限制,现场测试结果存在较大的离散性,通过现场原位试验得到的数据非常有限,而常用的测量岩体节理力学参数的室内直剪和三轴试验又因为脱离了现场条件,试验室里所测得的特定岩石节理的性质并不能完全代表工程现场实际的完整岩体节理性质,常常得不到理想的结果。

随着计算机技术的不断更新进步,数值计算方法的发展和数值软件的开发,各种数值模拟软件如 Ansys, Udec, 3Dec, Flac 3D 等已广泛应用于岩土工程的数值模拟中。基于拉格朗日差分法的岩土数值分析软件 Flac3D 来模拟在不同直剪试验条件下,岩性为灰页岩的岩体节理的变形和破坏情况,得出较符合工程实际的试验结果,从而更好地应用于指导实际工程。

1 模型力学参数的选取

岩体力学参数的取值是数值计算中的一个非常重要的环节,合理确定岩体物理力学参数值的目的在于计算过程中能够充分接近地描述岩体的力学响应,正确地揭示需要研究的问题^[3]。在对岩体工程进行数值模拟时,常见的力学参数有两大类:变形参数和强度参数。这些参数的正确选取对整个模拟结果的准确性起着至关重要的作用^[4]。实践证明^[1-4],建立数值模型应用于模拟不连续介质在加载情况下的力学响应十分有效。

节理岩体作为一种特殊的不连续介质,具有明显的各向异性,因此,在模拟试验中,建立准确、可靠、尽可能接近实际的数值模型是正确分析节理变形和强度特征的前提和基础。根据收集的现场岩体节理情况和室内试验测量灰页岩的力学数据(见表1),在不考虑温度、岩体节理含水量、时间作用等因素的影响情况下,模型分为上下两部分岩体,每部分岩体尺寸在 6 m × 6 m × 2 m ~ 15 m × 15 m × 8 m 之间;为了更真实地反映岩体节理的力学性质,模拟采用下部岩体在长度方向上比上部岩体多 4 m。模拟模型简图如图1所示,采用的力学参数如表2所示。

2 模拟试验结果分析

2.1 岩体节理应力场分析

节理面剪应力的分布情况为:从节理施加切向位移速率的一端向另一端逐渐增大,在靠近节理的另一端部附近上达到最大,最小剪应力分布在节理面的两端,最大剪应力的分布区域只占节理面的一小部分且呈齿状分布。而且随着法向应力的增大,最大剪应力分布区域基本上没有变化,说明法向力的大小对节理剪应力的分布没有影响,当切向位移速率小于一定值时,正应力在节理面上的分布情况类似于剪切力的分布情况。

表1 节理岩体室内试验参数表

岩性	试样编号	抗压强度 MPa	抗拉强度 MPa	弹性模量 GPa	泊松比
灰 页 岩	1	18.47	2.42	1.73	0.12
	2	17.58	2.23	1.44	0.46
	3	8.26	2.26	0.45	0.13
	4	/	2.21	/	0.24
	5	22.19	2.25	1.49	/
	6	17.68	2.14	1.51	0.40

表2 数值模型力学参数的选取表

法向应力 MPa	切向位 移速率 m/s	节理岩体 模型尺寸 m	膨胀角 (°)	节理岩体性质 基本摩擦角 (°)	体积 模量 K	剪切 模量 G
3.5	1e-5	6 × 6 × 2	1	22	0.298e8	0.874e8
5	3e-5	8 × 8 × 3	3	25		
6.5	5e-5	10 × 10 × 4	4	28		
8	7e-5	12 × 12 × 5	5	32		
9	8e-5	15 × 15 × 8	6	35		

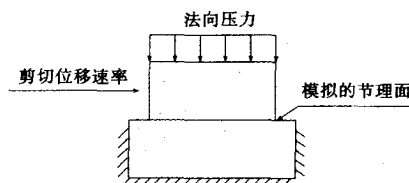


图1 数值模型简图

2.2 岩体节理变形特性

在开始加载剪切位移速率阶段,随着剪应力的增加,剪切位移增加较慢,变形为弹性变化,此时的剪切刚度可视为常量;随着剪应力的增大,在到达峰值剪切力之前的一段,剪切位移有一段明显增大,剪切刚度明显减小;达到峰值剪切力时,剪应力不再发生变化,位移量增大。当位移很小时,剪应力随切向位移呈线性增长,表现为弹性;当剪应力增大到足以克服静摩擦阻力之后,剪应力—剪切位移曲线呈非线性变化;当剪应力将要达到峰值剪切

收稿日期:2005-08-31

作者简介:黄杰安(1980-),男,中南大学资源与安全工程学院硕士研究生,湖南 长沙 410083

曹 平(1959-),男,博导,教授,中南大学资源与安全工程学院,湖南 长沙 410083

臧兴震(1980-),男,中南大学资源与安全工程学院硕士研究生,湖南 长沙 410083

强度时,切向位移突然增大,说明节理岩体已开始沿节理面剪坏。对应于剪应力应变的弹性阶段时,随着切向位移的缓慢增加,法向位移几乎没有什么变化,随着切向位移的增加,法向位移和切向位移呈非线性关系增长,达到峰值剪切强度后,法向位移和切向位移呈线性关系增加,且增加速度较快,说明节理已经发生剪切破坏。

2.3 岩体节理强度特征

直剪试验过程中,在法向力和剪切力的共同作用下,节理的破坏滑动发生在一定的特征和条件下,节理在加载情况下的滑动,开始是线性的,随着节理面的破坏,变成了非线性的,直到达到峰值剪切强度,由于节理面上存在膨胀角,当接触面剪切破坏时,节理开始膨胀,如果法向力较大,使膨胀受到抑制,则会在节理面上产生很高的膨胀压力,从而减少有效的法向应力,导致节理的剪切强度降低;当法向力小于某一特定的值时,施加切向位移速率时由于节理的膨胀,导致法向力失去作用,节理不会发生剪切破坏。随着法向力的增大,节理的峰值剪切强度也随着增大,原因是由于法向压力的作用下节理面被压实,使得要使岩体节理发生破坏的剪切力加大。

2.4 影响因素分析

1) 节理性质的影响。

模拟过程中发现,膨胀角通过减少有效法向应力来对节理的剪切强度起降低作用,而膨胀角的存在对节理剪切位移有较大影响,当节理的膨胀角变大时,剪切破坏节理的切向位移变小,反之,节理的切向位移变大,说明节理膨胀角的存在,影响节理达到峰值剪切强度的时间,抑制了节理切向的位移。基本摩擦角对节理的剪切强度有较大的影响,当基本摩擦角变大时,节理的剪切强度变大,反之,节理剪切强度变小,说明基本摩擦角对节理剪切强度有较大影响。

2) 节理尺寸效应的影响。

节理抗剪强度的尺寸效应因节理的状况和岩性而异^[5],岩壁强度小,尺寸效应一般不怎么明显,随着剪切面积的增大,抗剪强度减小,面积增至 2 500 cm² 以后,减小缓慢,增至 5 000 cm² 以后,基本不再减小;随着节理面积或长度的增大,节理峰值剪切强度逐渐降低,峰值剪切位移逐渐增加,剪切破坏的形式明显地从脆性变为延性。以上规律对应于小型尺寸的直剪试验比较适用,对于大型直剪试验而言,不同节理岩体的尺寸对节理峰值剪切强度影响不大,而对节理的峰值剪切位移影响较大,模拟发现,在同一法向应力和切向位移速率下,节理面的峰值剪切位移随节理岩体尺寸增大而减小。

3) 剪切位移速率的影响。

剪切位移速率对节理剪切强度有明显的影响,当剪切位移速率小于某一数值时,剪切速率对剪切强度的影响不明显,试验结果可视为静载作用下的力学性质,当剪切位移速率大于该值时,剪切速率对剪切强度有明显的影响^[5]。在法向力一定的情况下,

剪切位移速率越大,节理剪切强度变大,且达到峰值剪切强度速度越快,剪切位移速率过大时,大于 $1e-3$ m/s 时,节理面会产生局部的应力集中区,面积约为节理面的一半,造成剪切面的局部滑动破坏,在剪切力的持续作用下,破坏面的扩展最终导致整个节理面破坏;剪切位移速率越大,剪切位移和法向位移之间的线性关系越明显。随着剪切位移速率的增大,当剪切位移速率大于 $3.5e-5$ m/s 时,最大剪切位移的分布在节理中间部分显著增大,破坏发生时,最大剪切位移区域占据了节理面积的 80 % ~ 90 %,且基本上保持不变。模拟结果说明,剪切位移速率对节理面的剪切强度和对剪切位移的分布影响明显。

3 结语

由于岩体工程中,岩体节理产状、岩性、地质构造的不同,岩体节理的变形和强度特征是一种复杂的现象,正确判断各种因素对节理岩体工程性质的影响具有重要意义。通过分析研究灰岩岩体在不同的法向力和切向位移速率、节理性质和模型尺寸情况下节理的变形和强度特征,从而得出以下的结论:

1) 节理剪切破坏发生的判断和机理:在直剪试验过程中,当剪应力达到峰值强度后,节理面位移速率加快,剪切力基本不再发生变化,说明节理岩体已经发生了剪切破坏,因为节理面上产生的切向力大于节理面的摩擦力且克服了膨胀压力的影响,导致了节理岩体发生剪切方向的变形和破坏。

2) 大量的试验研究证明,直剪试验过程中,由于剪切力和法向力的共同作用,会在剪切面上产生弯矩,为消除弯矩对试验结果的影响,建议采取将剪切力与节理面夹 15° 角施加,这种方法对试验仪器要求较高。模拟过程中发现,当法向力和剪切位移速率保持在一定的比例施加时,可以使弯矩的影响减少到忽略不计。

3) 在充分收集工程现场节理岩体资料的基础上,通过建立接近现场实际的数值模型,选取合理的计算参数,可以较好地模拟直剪条件下岩体节理的变形和强度特征,克服了室内试验不能进行大型岩体试验的缺点,节省了现场原位试验费用,同时能有效地保证模拟结果的合理性。

参考文献:

- [1] 袁绍国,雷化南.节理岩体加载试验的计算机模拟[J].中国矿业,1994,3(3):64-66.
- [2] 陈胜宏,王鸿儒,熊文林.节理岩体的数值分析和模型试验研究[J].岩土工程学报,1989,11(3):22-30.
- [3] 朱焕春,Andrieux Patrick,钟辉亚.节理岩体数值计算方法及其应用(二):工程应用[J].岩石力学与工程学报,2005,24(1):89-96.
- [4] 朱焕春,Andrieux Patrick,钟辉亚.节理岩体数值计算方法及其应用(一):方法与讨论[J].岩石力学与工程学报,2004,23(20):3444-3449.
- [5] 赵才初,孙宗顺.工程岩体节理力学[M].上海:同济大学出版社,2002.50-51.

Deformation and strength characterizes simulate study of jointed rock mass under direct shear condition

HUANG Jie-an CAO Ping ZANG Xing-zhen

Abstract By building a single close jointed rock mass numerical model, with simulate software, we simulate deformation and strength characterizes of joint for jointed rock mass model under direct shear condition. We can conclude the result.

Key words direct shear, shear strength, jointed rock mass, simulation