

# 一般块体方法理论解验证

张莉丽,于青春

(中国地质大学水资源与环境学院,北京 100083)

摘要: 裂隙岩体一般块体方法能够解决任意大小裂隙、任意形状工程岩体的岩石块体识别及稳定性计算问题。它在块体识别的过程中,将复杂的块体分解为若干个简单的凸形块体,从而使复杂块体的一系列问题大大简化。边坡和地下洞室是野外最常见的岩体建筑物,本文分别选择了一个边坡和一个地下洞室,从块体识别、块体规模、下滑力、摩擦力、粘滞力、稳定性系数等角度对该方法进行了验证。通过解析的方法求得上述两种模型中各个物理量的解,然后把求得的这些解析解与一般块体算法和程序的求解结果进行了比较。结果表明,一般块体方法的算法与程序是正确的。

关键词: 一般块体方法;块体识别;理论解验证

中图分类号: TU457

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)06-0055-06

## 1 基本理论

水电、矿山、道路等大规模裂隙岩体工程中经常遇到的难题就是设计阶段如何根据已有的裂隙数据对施工过程中可能出现的不稳定岩石块体的数量、规模、形状等进行预测,对不同开挖面的安全性及支护工程的工作量(所需锚杆、锚索的长度、数量等)进行估算,进而优化开挖及锚固支护设计方案;施工过程中如何根据实测的裂隙快速准确的识别出不稳定块体,确定其空间位置、几何形状和规模,从而进行及时合理的支护。大规模天然危岩体的防灾及治理,以及大型石刻石雕等文物保护修缮也经常面临同样问题。

目前关键块体理论(Goodman and Shi<sup>[1]</sup>)或与其相类似的楔形体法(Hoek, Kaiser, and Bawden<sup>[2]</sup>)在国内研究不稳定岩石块体的识别、稳定性评价以及加固设计时,得到很普遍的应用,具有很高的声誉。但是这一理论存在的弱点是把裂隙考虑为无限大(或无限延展)的不连续面,因此在估计岩体的完整性,岩石块体的数量、规模和位置等问题上存在很大的困难,而且一般也只能找出简单的凸形块体(理论上可以证明,无限大平面形成的块体必然为凸形)。由于理论上的复杂性,考虑裂隙形状和大小的块体理论基本上还处于算法及数据结构的理论探讨阶段(Lin, Fairhurst, and

Starfield<sup>[3]</sup>; Ikegawa and Hudson<sup>[4]</sup>)。从现有公开发表的文献上看,能够结合具体的复杂露头形状(人工开挖或天然露头),考虑裂隙面的位置、形状、大小而能识别出所有块体的研究实例还不多见(Yu et al<sup>[5]</sup>, Yu<sup>[6]</sup>, Ohnishi and Yu<sup>[7]</sup>)。

此外,岩体三维块体的识别问题已成为不连续岩体的岩石动力学理论(DEM, DDA方法, Shi<sup>[8]</sup>)发展的主要瓶颈之一。目前这一理论的力学部分和二维模型已相当完善,但是由于无法识别三维岩石块体使其几乎不能用于实际工程的三维不连续岩体问题<sup>[9]</sup>。不连续岩体的静力学也存在类似的问题,八十年代初期 Warburton<sup>[10]</sup>通过矢量方法得出了任意形状岩石块体计算的通用算法,但到目前为止很少能见到这一方法的应用实例,作者认为其原因在于 Warburton 假设块体形状已知,而实际上,根据裂隙面和自由面(露头)计算三维复杂块体形状的拓扑几何问题仍是一个未能解决的问题。因此,岩体三维块体的识别问题的解决对不连续岩石动力学和静力学理论都具有较大意义,实际工程应用上可为大规模岩体开挖工程、人工及天然危岩体防灾支护治理工程等设计施工的信息化、经济化提供理论方法。

于青春等<sup>[11,12]</sup>提出了一种通用的块体识别及稳定性方法,并将其称之为一般块体方法,其研究建立在如下的假设之上:

(1) 研究岩体可以划分为有限个凸形多面体子区。子区的形状及划分与有限单元法的单元及剖分的概念几乎完全相同。地下洞室等的复杂曲面可用多个多边形近似。

(2) 裂隙个体的形状为平面圆盘形,每个裂隙的

收稿日期: 2010-03-17; 修订日期: 2010-04-09

基金项目: 裂隙岩体一般块体理论及应用研究(40372134)

作者简介: 张莉丽(1978-),女,博士研究生,研究方向是岩体稳定性及渗透性。

中心点的空间坐标、倾向、倾角、半径、摩擦角和粘滞系数是已知的。这些系数可以是野外实测的,也可以通过蒙特卡洛随机模拟方法生成,但在进行块体分析时每个裂隙的这些参数必须是已知的。

(3) 岩体可以是非均质的(包括岩石和裂隙)。

(4) 岩石块体被假设为刚体。在分析块体的稳定性时不考虑其变形。

一般块体方法主要包括研究区域的离散化、无效裂隙的去除、块体的识别、块体稳定性分析4个过程。区域离散化是把研究区域划分为有限个凸形子区,这一过程几乎与三维有限元方法中的单元剖分完全一致。要把复杂形状的岩体(如包含边坡或地下硐室的岩体)离散化并不困难,有限元法中发展起来的自动或手工剖分方法均可借用。一个子区很像一个单元,只是比对单元的限制要宽松得多,只要保证是凸形多面体即可。各子区呈什么形状只由离散时便利而定;子区的大小对块体分析的结果或精度没有影响,而子区的数量增大则计算工作量增大,因此在离散化时,除非是为了近似复杂的开挖曲面,否则可令子区尺度尽量大。一个子区拥有的数据结构也与一个单元相同,即一个三维体由其外围表面多边形面定义;每一个面由其边界节点系列定义;每个节点由其三维空间坐标定义;节点和子区编号必须唯一,子区在空间上不能重叠。

在裂隙网络中(包括实际观测的确定性网络或随机模拟得到的随机网络),并非所有的裂隙都对形成岩石块体有作用。有些裂隙与其他裂隙不相交,或者只与很少的裂隙相交,这些裂隙在块体识别前应该被检出并清除。为了节省计算量,规模小于某一人为规定的阈值的裂隙也被当作无效裂隙而被去除。有效裂隙指那些确实在某些块体的形成中有贡献的裂隙,这些裂隙面的某些部分形成了块体的表面。这里的有效与渗流模型中的有效裂隙不同。在渗流模型中,有效裂隙指的是连通裂隙(Connected fracture),他们直接或间接地与两个或两个以上非隔水边界相连。一个裂隙如果能够形成块体的表面,它至少要满足两个条件:(1)与三个或三个以上裂隙(包括开挖面和天然露头面)相交;(2)在裂隙的平面圆盘上,其他裂隙(包括开挖面和天然露头)的迹线至少要形成一个连通的闭路。对照上述两个条件检查每一个裂隙,无效裂隙会被不断发现、去除。这一过程是一个循环迭代的过程,最初看起来是有效的裂隙在周围某些无效裂隙被去除后可能被发现是无效的裂隙。去除无效裂隙的目的是

在块体识别时节省计算量,这一过程是十分必要的。裂隙网络中,特别是那些通过随机模拟作成的裂隙网络,能够与其它裂隙相交形成块体表面的裂隙是少数。也就是说裂隙网络中无效裂隙一般在数量上占有绝对优势。上述检验裂隙是否有效的两个条件是裂隙有效的必要条件,并非充要条件。也就是说不能保证通过这两个检验的每个裂隙都能形成块体的表面。但无效裂隙的少量残留虽然占用少量的计算量,但并不影响块体识别的正确性。去除无效裂隙的目的仅仅是为了节省计算量,如果裂隙的数量非常少,如只包含少数大规模实测裂隙,这一步完全可以省略。

几个过程中最重要的是块体识别过程。它能够在块体识别的同时将复杂的块体分解为几个简单的凸形块体,从而使几何描述、体积及重力计算、力学分析、可视化表示等一系列问题得以简化。其基本过程包括如下几个步骤:(1)把第一个子区当作一个凸形块体,令第一个裂隙对其进行切割形成两个新块体,再令第二个裂隙切割这两个块体,直到令所有的裂隙都进行切割。接下来令所有其它的子区做同样的过程。这时裂隙面暂被当作无限大平面。一个无限大平面只会把一个凸形体切割成两个小凸体,或者二者根本不相切割,不存在其它可能。这时形成的凸形块体被称为单纯形块体。(2)使先前暂被当作无限大平面的裂隙退化为有限大的圆盘形(椭圆形等亦类似但在此暂不做讨论)。这一过程的最明显结果是同一子区范围内的单纯形块体之间彼此合并。这时单纯形块体合并成的复杂块体是一种过渡性的块体,还不是岩体中实际存在的块体。(3)消除子区之间的假想面。这一过程导致不同子区之间单纯形块体合并,从而也导致上一步过程形成的过渡性复杂块体合并。经过这一过程得到的复杂块体是岩体中实际存在的块体。由于一般块体方法把研究区离散成子区,块体识别过程中实际复杂块体被离散为若干个简单块体,因此属于一种数值方法,只有在研究区域或裂隙之间的交切关系非常简单时才可能通过手工的方法识别出块体并对其稳定性作出评价。在以下的各节中,本文将精心设计一些岩体形状与裂隙的排列组合,使他们具有不同的块体形成模式,并且保证这些组合的块体的识别、体积计算、稳定性分析等过程能够通过解析的方法求解,然后把解析解与一般块体算法和程序的求解结果进行比较,从而验证一般块体方法的算法与程序的正确性。验证将从块体识别、块体规模、下滑力、摩擦力、粘滞力、稳定性系数的角度进行。

关于随机裂隙的模拟生成方法已有许多文献<sup>[13-14]</sup>,这里不再讨论。

## 2 块体识别验证

边坡和地下硐室是野外最常见的岩体建筑物。因此我们分别选择一个边坡和一个地下硐室对其进行块体识别及稳定性分析进行验证。图 1 为一假想二阶边坡,长 30m,两阶均直立,高都为 10m,马道宽均为 10m。边坡的倾向为 180°。计算时全局三维坐标的原点选在下阶边坡的左下角,Y 轴沿下阶边坡的走向指向东,X 轴指南,Z 轴铅直向上。边坡上精心设计了 22 条裂隙。每个裂隙的参数包括裂隙中心点坐标、倾向、倾角、半径、裂隙面摩擦角和粘滞系数。表 1 为这些裂隙的参数表。所有裂隙面摩擦角假设为 30°,粘滞系数假设为 0.01kgf/cm<sup>2</sup>。

表 1 边坡上 22 条裂隙参数表

Table 1 Parameters of the 22 fractures on the slope

NO	X (m)	Y (m)	Z (m)	倾向 (°)	倾角 (°)	半径 (m)	形成 块体
1	0	0	5	225	45	10	①
2	0	9	10	135	45	4	②
3	0	15	10	225	45	4	③
4	-15	0	20	180	30	11	④
5	-12	4	20	90	90	5	⑤
6	-12	8	20	90	90	5	⑥
7	-10	16	20	135	45	5	⑦
8	-10	22	20	225	60	5	⑧
9	0	17	10	135	30	7	⑨
10	0	24	10	45	75	5	⑩
11	-16	13	20	180	90	4	⑪
12	-15	14	18	135	45	4	⑫
13	-19	13	20	225	60	5	
14	-11	16	14	180	0	5	
15	-11	14	14	135	45	5	⑬
16	-11	18	14	225	45	5	⑭
17	0	30	2.5	135	30	5	⑮
18	0	30	0.5	135	60	5	⑯
19	0	30	9.5	315	60	5	⑰
20	0	30	7	315	30	5	⑱
21	-10	30	18	135	30	8	⑲
22	-10	30	18	135	60	8	⑳

由于这些裂隙是人为假设的,其位置、产状及半径均是精心设计的,裂隙之间以及裂隙与边坡面之间的相交关系很容易用解析的方法计算取得,因此块体的存在性以及各块体的面的方程、面的形状、面与面交线的方程以及顶点的坐标都很容易计算。如图 1 为通过解析法得到的上述 22 条裂隙在边坡面上的迹线,进

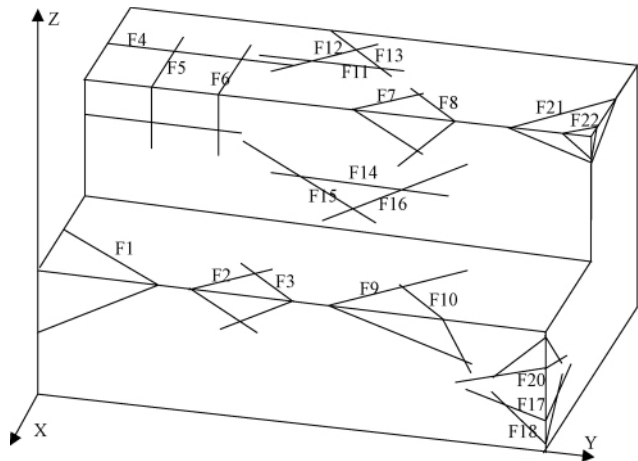


图 1 解析法计算得到的 22 条裂隙在边坡面上的迹线  
Fig.1 Theoretically calculated traces of the 22 fractures on the slope

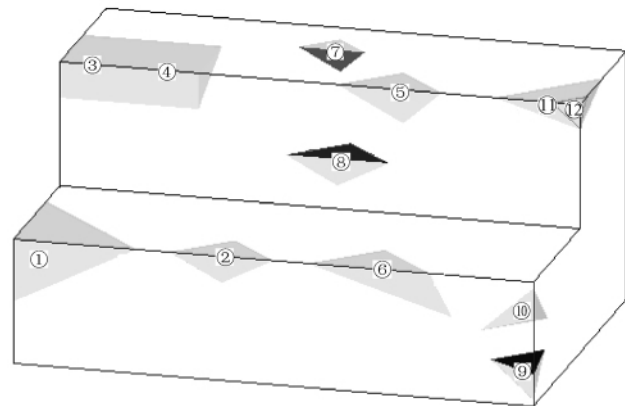


图 2 一般块体法识别出的边坡上 22 条裂隙形成的所有块体  
Fig.2 All of the blocks on the slope formed by the 22 fractures

步解析计算可以确认这些裂隙形成 12 个块体。图 2 为一般块体方法识别得到的三维块体图。可以看出一般块体方法块体识别的结果与理论方法是一致的。块体规模、可移动性、滑动力、稳定性系数等结果的验证将在下节中进行。

图 3 为一地下硐室,长 50m,边墙高度为 30m,边墙跨度为 18m,拱顶跨度为 24m,模型范围跨度为 48m,轴线走向为 90°的隧道模型。计算时全局三维坐标系原点取在硐室的进口处,XY 坐标平面水平并与硐室底面一致,Y 轴沿硐室的中轴线,正方向指向东,X 轴水平指南,Z 轴铅直向上。硐室岩石表面上设计了 6 条裂隙,表 2 为裂隙的参数表。同边坡模型一样,裂隙摩擦角假设为 30°,粘滞系数假设为 0.01kgf/cm。地下硐室的拱顶一般拥有复杂的曲面形,因此

从解析范围岩体的形状角度讲,地下洞室要比边坡复杂得多,只有当裂隙与洞室岩体的交切关系非常简单时才能用解析的方法识别出块体并确定块体的几何形状、规模等。图3为解析法计算得到的6条裂隙在洞室壁面上的迹线,图4为一般块体法识别出的洞室内6条裂隙形成的块体。结果表明一般块体方法能够正确识别出洞室围岩中的岩石块体。

表2 地下洞室中6条裂隙参数表

Table 2 Parameters of the 6 fractures in the underground cavern

NO	X (m)	Y (m)	Z (m)	倾向 (°)	倾角 (°)	半径 (m)	形成块体
1	-9	10	24	0	45	15	①
2	-9	6	19	315	60	15	
3	-9	15	20	315	30	15	
4	-9	28	28	0	45	20	②
5	-9	30	23	90	45	20	
6	-9	36	20	270	45	20	

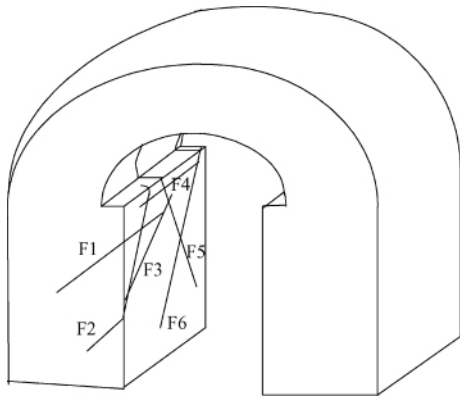


图3 解析法计算的6条裂隙在洞室壁面上的迹线  
Fig.3 Traces of the 6 fractures by theoretical solution

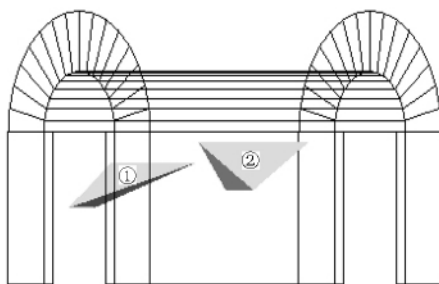


图4 一般块体法识别出的洞室内6条裂隙形成的块体  
Fig.4 Blocks identified by numerical method for the underground cavern

果为块体列表,包括每个块体的可移动性、规模、滑动面、滑动力、摩擦力、粘滞力和稳定系数。本节中主要针对这些结果进行验证。数值程序可以处理非常复杂的块体,计算块体体积时,程序自动把复杂块体分解为简单的凸形体,然后再分解为更简单的四面体,而四面体的体积是非常容易计算的。但解析法却很难处理复杂的块体,因此我们为验证而设计的块体都非常简单,基本全为四面体,这样块体的体积(它影响重力,因而影响下滑力、摩擦力等)容易用解析的方法计算,只要计算出四面体的四个定点,其他参数便不难确定。这种简单的块体在许多文献中被称为关键块体或楔形体,其力学计算方法在文献中是比较常见的,如文献[15]。楔形体在重力的作用下的滑动有两种可能:一种是沿某一裂隙面的倾斜方向滑动,另一种是沿某两个面的交线即块体的某一棱线滑动。

这里首先讨论块体沿单个裂隙面滑动的情况。图5为一沿单个裂隙面滑动的块体,如果假设块体的滑动力  $F_s$ ,摩擦力  $F_f$ ,粘滞力  $F_c$ , $W$ 为块体的重量, $\alpha$ 为滑动面的倾角, $\varphi$ 为构成滑动面的不连续面的摩擦角, $C$ 为粘滞系数, $A$ 为滑动面的面积,无支护条件下块体的安全系数为  $\eta$ ,则有:

$$F_s = W \sin \alpha \quad (1)$$

$$F_f = W \cos \alpha \tan \varphi \quad (2)$$

$$F_c = CA \quad (3)$$

$$\eta = (F_c + F_f) / F_s \quad (4)$$

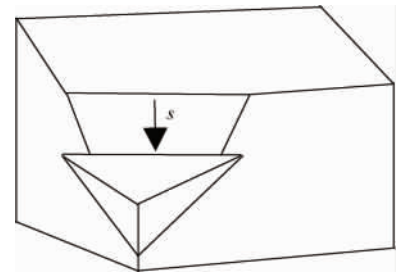


图5 沿某一裂隙面滑动的块体  
Fig.5 Block sliding along a fracture face

接下来讨论块体沿裂隙面交线滑动的情况。如图6所示,假定坡顶面为一水平面, $\triangle ABD$ 和 $\triangle BCD$ 为两个可能滑动面,倾向相反,倾角分别为 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ ,它们的交线BD的倾伏角为 $\beta$ ,边坡角为 $\alpha$ ,坡高为 $H$ 。

假设可能滑动体将沿交线BD滑动,滑出点为D。在仅考虑滑动岩体自重 $G$ 的作用时,边坡稳定性系数 $\eta$ 计算的基本过程为:首先将块体自重 $G$ 分解为垂直于BD的分量 $N$ 和平行于BD的分量 $S$ (即滑动力 $G \sin \beta$ ),然后将垂直分量 $N$ 投影到两个滑动面的法线

### 3 稳定性验证

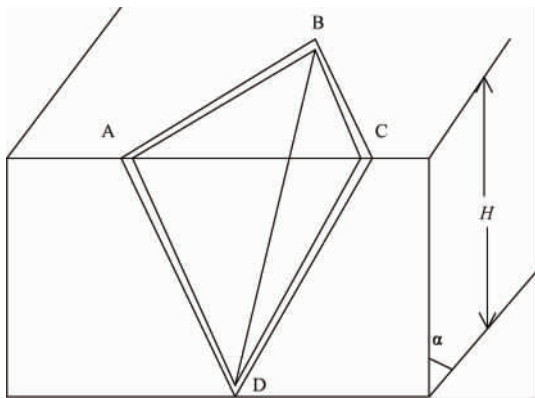


图 6 沿某裂隙交线滑动的块体

Fig. 6 Block sliding along an intersection of fractures

方向,求得作用于滑动面上的法向力  $N_1$  和  $N_2$ ,最后求得抗滑力及稳定性系数。根据以上基本思路,则可能滑动体的滑动力为  $S = G\sin\beta$ ,垂直交线的分量为  $N = G\cos\beta$ (图 7)。

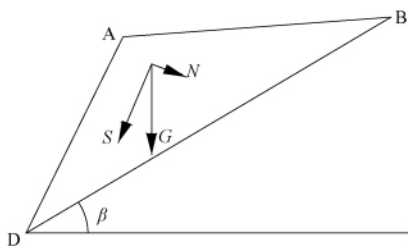


图 7 块体力分解图

Fig. 7 Force components of a block

将  $G\cos\beta$  投影到  $\triangle ABD$  和  $\triangle BCD$  的法线方向上,得作用于二滑面上的法向力:

$$N_1 = \frac{N\sin\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} = \frac{G\cos\beta\sin\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad (5)$$

$$N_2 = \frac{N\sin\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} = \frac{G\cos\beta\sin\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad (6)$$

式中: $\theta_1, \theta_2$ —— $N$  与二滑面法线的夹角。

设  $C_1, C_2$  及  $\alpha_1, \alpha_2$  分别为两个滑面的粘聚力和内摩擦角,则二滑面的抗滑力  $F_s$  为:

$$F_s = N_1\text{tg}\alpha_1 + N_2\text{tg}\alpha_2 + C_1S_1 + C_2S_2$$

则块体的稳定性系数为:

$$\eta = \frac{N_1\text{tg}\alpha_1 + N_2\text{tg}\alpha_2 + C_1S_1 + C_2S_2}{G\sin\beta} \quad (7)$$

式中: $S_1, S_2$ ——2 个滑面的面积; $G = \rho gHS_1$ 。

将(5)和(6)式中的  $N_1$  和  $N_2$  代入(7)式即可求得块体的稳定性系数。

表 3 为边坡模型中 12 个块体的数值解与理论解结果对比,表 4 为地下硐室模型中 2 个块体的数值解与理论解结果对比,从中可以看出数值解与理论解完全吻合。表中某些块体是不可移动的,如块体 7、块体 10 等。这些块体四周被周围的岩体完全限制住,在只有重力作用的条件下不会向任意方向滑动,这些块体不存在滑动力、摩擦力、稳定性系数等问题,因此表中对应这些项目的栏目为空白。

表 3 边坡块体数值解与理论解结果对比

Table 3 Results by theoretical and numerical methods for the blocks of slope model

块体	是否可移动	体积 ( $\text{m}^3$ )		下滑力 (t)		摩擦力 (t)		粘滞力 (t)		稳定性系数	
		数值解	理论解	数值解	理论解	数值解	理论解	数值解	理论解	数值解	理论解
①	是	41.667	41.667	76.603	76.603	44.227	44.227	3.536	3.536	0.624	0.624
②	是	6.364	6.364	9.553	9.553	9.007	9.007	1.273	1.273	1.076	1.076
③	是	28.868	28.868	37.528	37.528	37.528	37.528	3.031	3.031	1.081	1.081
④	是	28.868	28.868	37.528	37.528	37.528	37.528	3.753	3.753	1.100	1.100
⑤	是	8.069	8.069	13.735	13.735	10.802	11.103	1.466	1.466	0.893	0.915
⑥	是	13.805	13.805	17.787	17.787	19.041	19.040	2.540	2.540	1.213	1.213
⑦	否	2.043	2.043	—	—	—	—	—	—	—	—
⑧	是	6.364	6.364	9.553	9.553	9.007	9.007	2.173	2.173	1.170	1.170
⑨	是	2.000	2.000	0.000	0.000	8.202	8.202	0.946	0.946	—	—
⑩	否	3.906	3.906	—	—	—	—	—	—	—	—
⑪	否	7.111	7.111	—	—	—	—	—	—	—	—
⑫	是	0.889	0.889	2.001	2.001	0.667	0.667	2.667	2.667	0.467	0.467

表4 硐室块体数值解与理论解结果对比

Table 4 Results by theoretical and numerical methods for the blocks of underground cavern model

块体	是否可移动	体积(m <sup>3</sup> )		下滑力(t)		摩擦力(t)		粘滞力(t)		稳定性系数	
		数值解	理论解	数值解	理论解	数值解	理论解	数值解	理论解	数值解	理论解
①	否	199.160	199.160	—	—	—	—	—	—	—	—
②	是	285.792	285.792	0.001	0.001	606.705	606.705	25.527	25.527	632232	632232

### 4 结论

(1) 裂隙岩体一般块体方法能解决任意大小裂隙,任意形状工程岩体的岩石块体识别及稳定性计算问题。在这一方法中工程岩体可以是任意的由多面体组合成的形状,它在块体识别的过程中将复杂的块体分解为若干个简单的凸形块体,从而可以使复杂块体的一系列问题大大简化。因此对于它的验证非常重要。

(2) 本文利用理论解对一般块体方法进行了较为详细的验证。精心设计了一些岩体形状与裂隙的排列组合使他们具有不同的块体形成模式,并且保证这些组合的块体的识别、体积计算、稳定性分析等过程能够通过解析的方法求解,然后把解析解与一般块体算法和程序的求解结果进行比较,从而验证一般块体方法的算法与程序的正确性。

(3) 本文从块体识别、块体规模、下滑力、摩擦力、粘滞力、稳定性系数等角度,对一般块体方法进行了验证。文中用于块体验证的裂隙都是确定性的。

(4) 从块体识别及稳定性分析的角度上看,随机裂隙与确定性裂隙的使用是一样的,只是随机裂隙的参数是通过随机过程产生的,而确定性裂隙的参数是野外实测或通过假设确定的。

### 参考文献:

[1] Goodman R E, Shi G H. Geology and rock slope stability-application of the key block concept for rock slopes [C] // Proc. 3rd International Conferences on Stability in Surface Mining (AIME/SME, NEW YORK), 1982:347-373.

[2] Hoek E, Kairhurst P K, Bawden W F. Support of underground excavation in hard rock [M]. A. Balkema Publishers, 1995.

[3] Lin D, Fairhurst C, Starfield A M. Geometrical identification of three-dimensional rock block system using topological techniques [J]. Int. J. Rock

Mech. Sci. Min & Geomech. Abstr., 1988, 25:139-147.

[4] Likegawa Y, Hudson J A. A novel automatic identification systems for three-dimensional multi-block systems [J]. Engineering Computing, 1992, 9: 169-179.

[5] Yu Q, Ohnishi Y, Xue G, et al. An approach to the identification of three-dimensional rock block, proceedings of international symposium on imaging applications in geology [C] // Liege, Belgium 1999: 1009-1013.

[6] Yu Q. Analysis for fluid flow and solute transport in discrete fracture network [D]. Dr. Thesis of Kyoto University, Kyoto, Japan, 2000.

[7] Ohnishi Y, Yu Q. 3D block analyses, a new numerical methods and advances in geomechanics [M]. Desai et al (eds). Balkema, Rotterdam, 2001:577-580.

[8] Shi G. Discontinuous deformation analysis, a new numerical model for the statics and dynamics of block systems [D]. Ph. D. thesis, University of California, Berkeley, 1989.

[9] Wu J. Numerical analysis of discontinuous rock masses using discontinuous deformation analysis [D]. Dr. Thesis of Kyoto University, Kyoto, 2003.

[10] Warburton P M. Vector stability analysis of an arbitrary polyhedral rock block with any number of free faces [J]. Int. J. Rock Mech. Min. Geomech. Abstr., 1981, 18: 415-427.

[11] 于青春,陈德基,薛果夫,等.裂隙岩体一般块体理论初步[J].水文地质工程地质, 2005, 32(6):42-48.

[12] Q Yu, Y Ohnishi, G Xue, et al. A generalized procedure to identify three-dimensional rock blocks around complex excavations [J]. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. 2009, 33:355-375.

(下转第70页)

of earth pressure at rest of natural soft clay depositing COWK triaxial apparatus [R]. Japan: Japan Society for the promotion of science 2007.

[13] 姜安龙,张少钦,曹慧兰,等. 静止侧压力系数及其试验方法[J]. 南昌航空工业学院学报:自然科学版 2004,18(4):57-62.

## Experimental study on determination of loading stability time of soil coefficient of lateral earth pressure at rest

ZHAO Sheng-feng, HE Zhao-zhi, LIAO Zhi-jian, YAO Ping

(Shanghai Geological and Mineral Engineering Investigation Co., Ltd., Shanghai 200072, China)

**Abstract:** The determination of the coefficient of lateral earth pressure at rest,  $K_0$ , which is a basic parameter of geotechnical engineering design, is an important component of the soil technical test. However, because of the lack of test standard, tests are made with different loading stability time according to experiences, and the unified  $K_0$  value cannot be supplied for the calculation and design, so  $K_0$  value is taken by looking up the table, which neither reflects the true stress condition, nor satisfies the need of high quality design. Consequently, to ascertain the standard of determination test on soil  $K_0$  value is becoming more and more essential. This paper briefly introduces the laboratory experiment method for  $K_0$  value determination, the loading stability time of  $K_0$  value is studied by tests, and test stability time of loading of  $K_0$  value of shallow foundation soil in Shanghai area is obtained, from which the reference is provided for the standard of determination test on  $K_0$  value.

**Key words:** coefficient of lateral earth pressure at rest; stability time of loading; experiment

责任编辑:张明霞

(上接第 60 页)

[13] Oda M. Fabric tensor for discontinuous geological materials [J]. Soils and foundation, 1982, 22: 96-108.

[14] Kulatilake P H S W, Wathugala D N M, Stephansson O. Joint network modeling with a validation exercise in Strip

mine [J]. Sweden. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomech. Abstracts, 1993, 30: 503-526.

[15] 刘佑荣,唐辉明. 岩体力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社 2002:179-186.

## Theoretical validation on general block method

ZHANG Li-li, YU Qing-chun

(School of Water Resource and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** General block method is a numerical procedure for the identification and stability assessment of rock blocks formed by finite-sized fractures and arbitrary-shaped rock mass. The rock mass of study region may be partitioned into a finite number of sub-regions, and each sub-region is, or can be approximated with, a convex polyhedron. Detail theoretical validation is carried out in this paper. This is realized through solving the same problems with general block method and theoretical method, and comparing their results. Two models, including a slope model and an underground cavern model, are calculated with theoretical method and general block method. Their results, including the volume, weight, sliding face, sliding force, friction and safety coefficient of all the blocks in the two models, are compared. The results show that general block method is correct.

**Key words:** general block method; block identification; theoretical validation

责任编辑:张明霞