

DOI: 10.11779/CJGE201505011

考虑微凸体变形相互作用的节理闭合变形模型

唐志成, 刘泉声

(武汉大学土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 法向应力作用下节理的闭合变形是工程实践中常见但又未被很好解决的节理力学性质之一。依据弹性接触理论, 提出考虑微凸体变形相互作用影响的闭合变形理论模型, 该相互作用由一个均布荷载体现。模型采用不同接触下节理的组合形貌参数, 适用于含起伏度分量的节理的闭合变形问题。较之于不考虑微凸体变形相互作用影响的 Xia 模型, 新模型的计算值更为接近试验值。

关键词: 岩石力学; 节理; 闭合变形; 相互作用; 起伏度

中图分类号: TU452

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2015)05-0853-07

作者简介: 唐志成(1983-), 男, 博士, 主要从事岩石力学方面的研究和教学工作。E-mail: rocktangzc@126.com。

Closure deformation model for rock joints considering asperity interaction

TANG Zhi-cheng, LIU Quan-sheng

(School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The load-closure behavior of rough surfaces remains to be an open question of interest with applications in many practical rock engineering problems. According to the elastic theory, a theoretical model is further developed for obtaining the stress-closure behavior of rock joints. The present model can account for the deformed asperity interaction expressed by a uniform pressure. The composite topography is used to capture the features of rock joints under different contacts and the corresponding topography parameters are the input parameters for validity of the proposed model. The new model is also suitable for solving the closure behavior of rock joints with waviness component. Compared with those by the Xia model, which ignores the asperity interaction, the calculated curves by the proposed model fit the experimental results well.

Key words: rock mechanics; joint; closure deformation; interaction; waviness

0 引 言

岩体的力学性质在很大程度上受节理的力学性质影响, 在各类岩体工程建设中, 如地下厂房开挖、高放废物地质处置等, 均需要高度重视节理的力学性质, 本文讨论法向应力作用下节理的闭合变形。研究表明^[1], 节理的闭合变形性质即使在简单的法向应力作用下也是非常复杂的。因此, 在过去 50 a 中有多个模型被提出用于估算/描述节理的闭合变形, 从分析方法上可分为经验模型、数值模型、理论模型三类^[2]。

经验模型^[1, 3-7], 采用函数拟合试验结果, 一般含待定系数, 简洁但难以估算节理的闭合变形。Goodman^[3]采用双曲线函数描述节理的闭合变形(含 2 个待定系数); Bandis 等^[1]、Barton 等^[4]仿照三轴条件下岩石的应力-应变方程, 提出更为合适的双曲线模型(简称为 BB 模型, 不含待定系数), 并首次明确了初始法向刚度的含义; Swan^[6]、Malama 等^[5]分别采用幂函数、指数函数模型描述节理的闭合变形性质。需要指出的是, BB 模型考虑了节理粗糙度的影响, 建

立了最大闭合变形量、法向刚度与节理粗糙度系数 JRC 的联系, 因此在实践中应用最为广泛^[8]。

数值模型^[9-12]通常将单个微凸体简化为柱体并采用材料力学或接触力学理论分别计算微凸体变形、基体变形引起的微凸体变形、微凸体变形相互作用引起的变形, 利用计算机的运算能力分析全部微凸体, 由叠加原理得到节理的闭合变形。该类模型需要精确描述节理的形貌特征并编制特定的计算程序才能求解闭合变形, 缺乏通用性。

理论模型^[2, 6, 13-19]根据节理的形貌特征采用 Hertz 接触理论计算闭合变形, 大部分模型将节理视为随机粗糙的(只含粗糙度分量)。根据国际岩石力学学会^[20](International Society for Rock Mechanics, ISRM), 节理的形貌一般包含起伏度分量和粗糙度分量两部

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41402247); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2014CB046904); 国家自然科学基金重点基金项目(41130742); 第 55 批中国博士后科学基金(2014M550407)
收稿日期: 2014-08-24

分。两个分量对节理的闭合变形有不同的影响, Greenwood 等^[13]根据 Hertz 理论解决了光滑平面和粗糙平面的接触问题, Xia 模型^[21]、Tang 模型^[2]解决了含起伏度分量的节理的闭合变形问题。根据 Cook^[9]、Hopkins^[10], 法向应力作用下微凸体变形的相互作用亦对节理的闭合变形有重要影响, 而目前基于 Hertz 接触理论的节理闭合变形模型没有考虑微凸体变形相互作用的影响。

1 微凸体变形相互作用力学模型

对岩石节理而言, 真实的接触面积远小于名义接触面积, 且既与表面形貌相关也与施加的法向应力相关。Greenwood 等^[13]的研究表明, 两个粗糙表面的接触可视为一个平坦、光滑表面与一个粗糙表面的接触问题, 并可进一步简化为多个微小的球体(表面峰点)与平坦、光滑表面的接触; Xia 等^[21]的研究表明含起伏度节理的闭合变形问题可等效于一个光滑起伏度与一个粗糙平面(只含粗糙度)的接触闭合问题。如此, 则可通过定义峰点的形状、分布, 采用接触力学理论求解法向应力及其对应的闭合变形。

对只含粗糙度分量的节理而言, 如图 1 所示, 单个微凸体在法向应力作用下引起周围区域产生变形, 导致新的接触和变形, 是为微凸体变形相互作用引起的闭合变形, 表示为 $U_z(r)$ 。

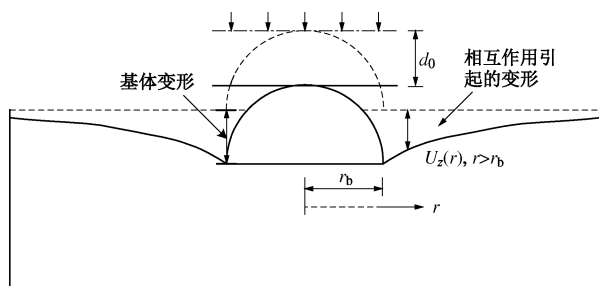


图 1 微凸体的接触变形

Fig. 1 Realistic contact of rough surfaces

若不考虑微凸体变形的相互作用, 根据 Hertz 接触理论, 单个微凸体的变形与法向应力的关系可表示为

$$P_1 = \frac{4}{3} E' \beta^{\frac{1}{2}} (z - d)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

式中 P_1 为法向应力; E' 为有效弹性模量; β 为峰顶平均半径; z 为微凸体的高度, 粗糙表面某峰顶到参考面的距离; d 为光滑平面到粗糙表面的参考面的距离。

根据弹性理论^[22], 微凸体变形相互作用引起的节理的平均闭合变形为 $m p_{\text{nom}} \sqrt{A/E'}$, 对 Hertz 接触而言 m 可取 1.0, 则考虑变形相互作用的单个微凸体的变形

与法向应力的关系可近似表示为

$$P_2 = \frac{4}{3} E' \beta^{\frac{1}{2}} (z - d - p_{\text{nom}} \sqrt{A/E'})^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

式中, P_2 为法向应力, p_{nom} 为平均法向压力, 不考虑微凸体变形相互作用得到的法向应力。

微凸体的接触压力与变形有关, 当变形为 $u(r)$ 时, 若不考虑微凸体变形相互作用, 接触压力为^[21]

$$q_1(r) = \frac{4}{3} E' \eta \sqrt{\beta} \int_0^{u(r)} \sqrt{[u(r) - z]^3} f(z) dz \quad (3)$$

若考虑微凸体变形相互作用, 则得到的接触压力为

$$q_2(r) = \frac{4}{3} E' \eta \sqrt{\beta} \int_0^{u(r)} \sqrt{\left[u(r) + \frac{q_1(r) \sqrt{A}}{E'} - z \right]^3} f(z) dz \quad (4)$$

式(4)为迭代表达式, 求解时先根据式(3)求出 $q_1(r)$, 即式(2)中的 p_{nom} , 然后通过一次迭代求解 $q_2(r)$ 。

另一方面, 对含起伏度分量的节理的闭合变形问题, 可转化为光滑起伏度曲面与一个含随机粗糙度的平面的接触闭合问题来求解^[21]。如图 2 所示, 微凸体(粗糙度)、起伏体(起伏度)的接触变形分别为^[21]

$$u(r) = \frac{a^2 - r^2}{2R} + w(a) - w(r) \quad (5)$$

$$w(r) = \frac{2P}{\pi^2 E' b c} \int_0^{\pi/2} \left[\arctan \left(\frac{1}{2b} \sqrt{a^2 - r^2 \sin^2 \varphi} \right) - \frac{2b}{a^2 + 4b^2} \sqrt{a^2 - r^2 \sin^2 \varphi} \right] d\varphi \quad (6)$$

式中 a 为接触圆半径; r 为计算点到接触中心的距离; R 为起伏度的曲率半径; $w(r)$ 为起伏度的变形; P 为施加的法向荷载; b, c 为接触圆面上的压力分布参数; $ds, d\varphi$ 的含义见图 2。

起伏体与微凸体接触区的压力分布为^[21]

$$q_3(r) = \frac{P}{\pi c} \left(\frac{1}{r^2 + 4b^2} - \frac{1}{a^2 + 4b^2} \right) \quad (7)$$

对同一个接触而言, 起伏体与微凸体之间的接触力是作用力与反作用力的关系, 因此在接触区域处的压力是相等的。但是在接触区域内, 可能有多多个微小的接触, 为此假定若在特殊点处满足平衡条件, 即

$$\begin{cases} q_2(0) = q_3(0), \\ q_2\left(\frac{a}{2}\right) = q_3\left(\frac{a}{2}\right). \end{cases} \quad (8)$$

则认为接触力是相等的, 此时得到的应力、变形为节理的闭合变形。若考虑微凸体变形相互作用, 则节理的闭合变形模型由式(3)、(4)和(7)组成, 通过迭代计算求解闭合变形。求解时, 先给 a, b 赋非零的初始值, 由式(7)计算起伏体的接触压力、式(6)

计算起伏体的弹性变形 $w(r)$; 由式 (5) 计算微凸体的变形, 代入式 (3) 得到不考虑微凸体变形相互作用的接触压力 $q_1(r)$, 进而采用式 (4) 得到考虑微凸体变形相互作用的接触压力 $q_2(r)$; 最后, 通过迭代计算并在特殊点处满足式(8)的平衡条件得到节理的闭合变形。

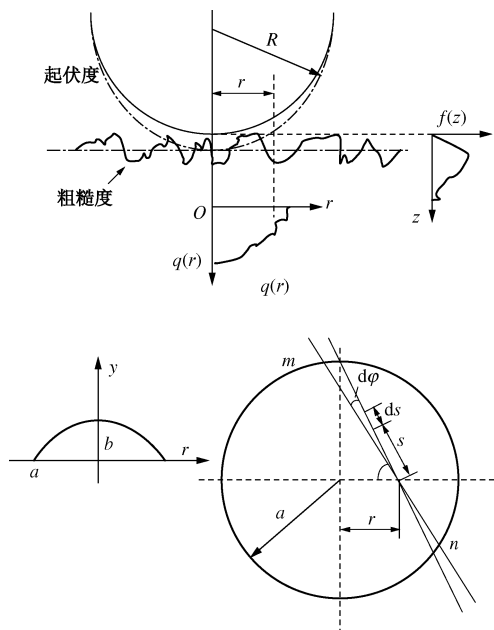


图2 起伏度与粗糙平面的接触^[21]

Fig. 2 Contact between waviness and unevenness of rock joint^[21]

2 闭合变形试验

2.1 试件制备

劈裂花岗岩块, 获得两组不同形貌的岩石节理, 命名为 J-I、J-II, 平面尺寸长×宽=300 mm×150 mm; 采用硅胶复制节理的形貌, 然后以此为模板浇筑水泥砂浆制备节理试件, 每组 4 个, 采用 TJXW-3D 型便携式岩石三维表面形貌仪 (精度为 20 μm) 获取节理的形貌数据, 节理的下盘形貌如图 3 所示。水泥砂浆的质量配比为水泥:砂:水=3:2:1, 基本力学参数为: 单轴压缩强度 σ_c 为 27.5 MPa, 抗拉强度为 1.54 MPa, 弹性模量为 6.1 GPa, 泊松比 ν 为 0.16, 密度 ρ 为 2200 kg/m³。

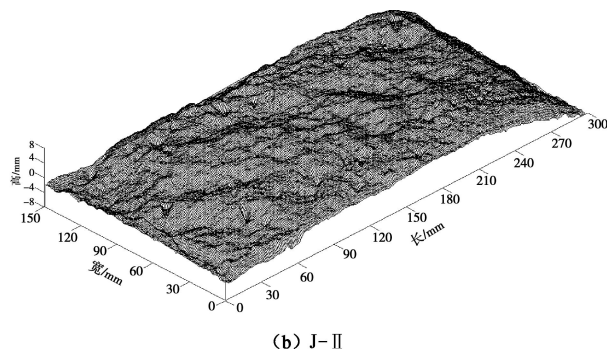
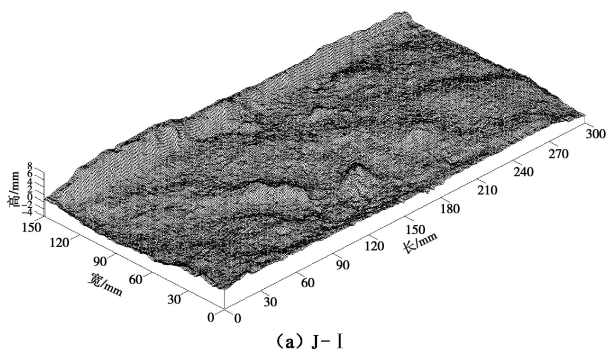


图3 节理的三维形貌特征

Fig. 3 Three-dimensional surface morphology

2.2 形貌描述

在应用上述模型之前, 需要区分节理的起伏度分量和粗糙度分量, 采用傅里叶级数对形貌的起伏度分量和粗糙度分量进行分离^[21], 具体如下所述。

当节理含有起伏度分量时, 每一条剖面的高度坐标 $z(i)$ 可表示为

$$z(i) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^N \left[a_m \cos\left(\frac{2\pi mi}{N}\right) + b_m \sin\left(\frac{2\pi mi}{N}\right) \right] + \varepsilon_r(i). \quad (9)$$

式中 a_0, a_m, b_m 为傅里叶系数, $a_0 = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x(i)$,

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x(i) \cos\left(\frac{2\pi mi}{N}\right), \quad b_m = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x(i) \sin\left(\frac{2\pi mi}{N}\right);$$

N 为总的采样数据点数; m, i 为自然数; $\varepsilon_r(i)$ 为随机分量。

若节理的表面形貌含一个周期分量 $m=h$, 式 (9) 可表示为

$$z(i) = a_h \cos\left(\frac{2\pi mi}{N}\right) + b_h \sin\left(\frac{2\pi mi}{N}\right) + \varepsilon_h(i). \quad (10)$$

随机粗糙度分量 $\varepsilon_h(i)$ 为

$$\varepsilon_h(i) = z(i) - c_h \cos\left(\frac{2\pi hi}{N} + \varphi_h\right), \quad (11)$$

式中 c_h 为节理表面形貌起伏度分量的幅值, $c_h = \sqrt{a_h^2 + b_h^2}$, φ_h 为节理表面形貌起伏度分量的幅角, $\varphi_h = \arctan(-a_h/b_h)$ 。

节理表面形貌经上述处理后得到的起伏度分量、粗糙度分量如图 4 所示。

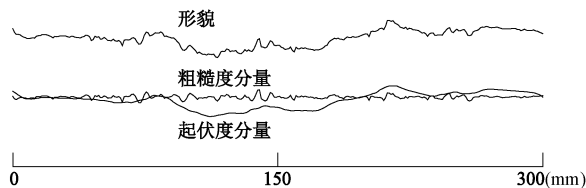


图4 节理的形貌及其分量^[8]

Fig. 4 Total topography and two components^[8]

研究表明^[16-17], 节理的闭合变形处决于上、下表面接触时的组合形貌, 节理的组合形貌计算式为

$$z_c(i) = z_{upper}(i) + z_{lower}(i + m) \quad , \quad (12)$$

式中, $z_c(i)$ 为节理的组合形貌数据。

如图 5 所示, 节理的接触发生在组合形貌的最高点, 而非单个形貌的最高点。

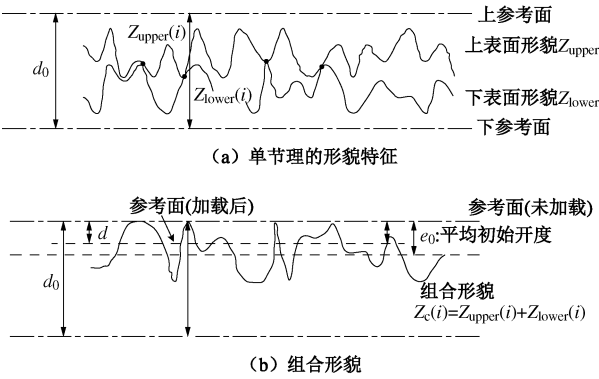


图 5 节理的组合形貌

Fig. 5 Sketch of two rough surface profiles of a joint and associated composite topography

根据节理单个面的形貌及其组合形貌, 可将节理的接触分为 3 类, 见表 1。本文采用的节理, J-I 属于类型 1, J-II 属于类型 3。

表 1 节理的接触类型和适用模型

Table 1 Three contact cases of joint and its suitable model		
类型	节理的形貌特征	合适的模型
1	单个节理面只含粗糙度分量, 组合形貌也只含粗糙度分量	新模型
		Xia 模型($R \rightarrow \infty$)
		Brown 模型
		Greenwood 模型
		Yamada 模型
2	节理两个面均含起伏度分量, 组合形貌只含粗糙度分量	Swan 模型
		新模型
		Xia 模型($R \rightarrow \infty$)
3	节理两个面均含起伏度分量, 组合形貌含起伏度分量	新模型
		Xia 模型($R \rightarrow \infty$)

2.3 试验方法

在试验前, 将节理的上、下面分别错开 5, 10, 15 mm 获得不同的组合形貌进行闭合变形试验, 具体操作方法如下^[21]: ①将节理的上、下试块处于紧贴的完全偶合状态, 上、下节理面壁的错位量为零; ②在垂直节理面的方向布置若干间距为 1 mm 的细小刻度线; ③在耦合状态下, 固定下半个节理试块, 将上半个节理试块沿设定的方向分别移动 5, 10, 15 mm, 得到不同的组合形貌。

节理的闭合变形试验在同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室的 CSS-342 岩体剪切试验机上完成。闭合变形试验中施加的法向应力为 3.0 MPa, 试验前先施加 50 kPa 的法向应力稳定试验系统, 然后以 0.002 MPa/s 的速率加载到设定值。试验过程中, 在节

理的 4 个角点处设置监测点用 LVDT 记录该点的闭合变形, 精度为 0.001 mm, 节理的闭合变形由 4 个角点记录结果的平均值确定。对错开位移量的节理试件, 在闭合变形试验时需特别注意上半试块的位置, 在施加 50 kPa 的稳定荷载时应使得试块与试验机的作动器完全接触, 不能出现偏心加载。

3 结果分析

闭合变形试验结果如图 6 所示, 曲线的形状基本相同, 呈非线性特征, 与 Goodman^[3]、Bandis 等^[1]节理闭合变形试验曲线趋势相同。若不考虑节理上、下面的接触(组合形貌), 根据单节理面的形貌进行分析, 则会得到“闭合变形是相同的”结论。但试验结果表明节理的闭合变形不只与单节理面的形貌相关, 而随上、下表面错开位移量的不同而有较大的变化, 总体趋势是在相同的法向应力作用下闭合变形随上、下表面错开位移量的增加而增加, 表明节理的闭合变形更直接的是与不同接触下的组合形貌相关。模型计算曲线与试验值的比较见图 7, 8, 求解模型时需要的参数列于表 2。与 Xia 模型相比^[21] (不考虑微凸体变形相

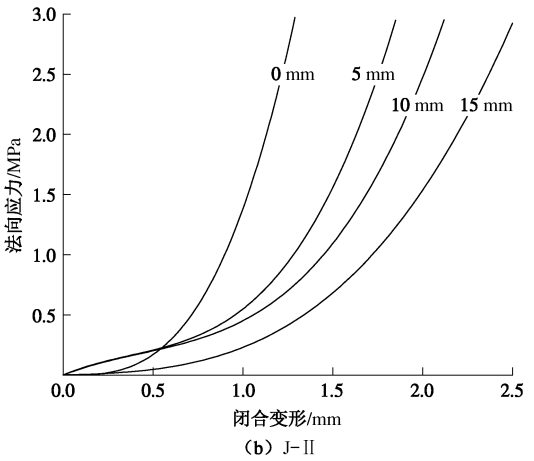
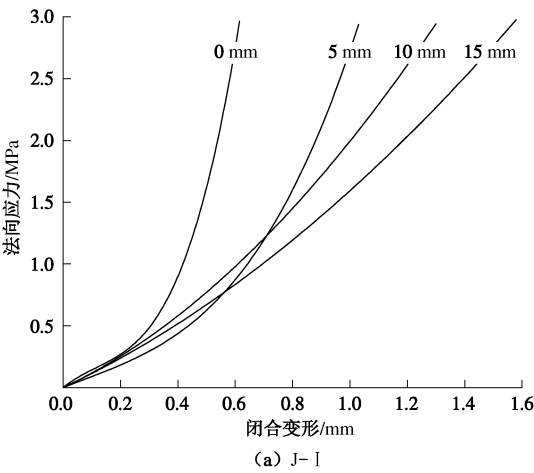
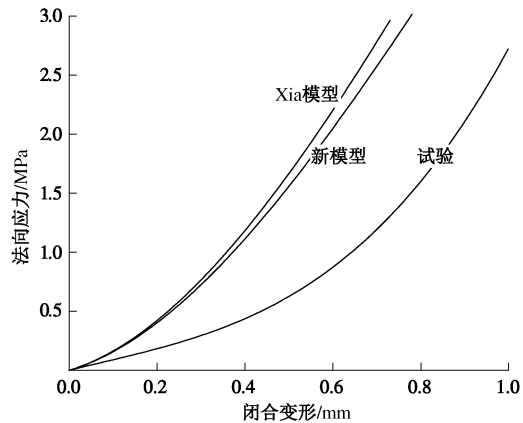
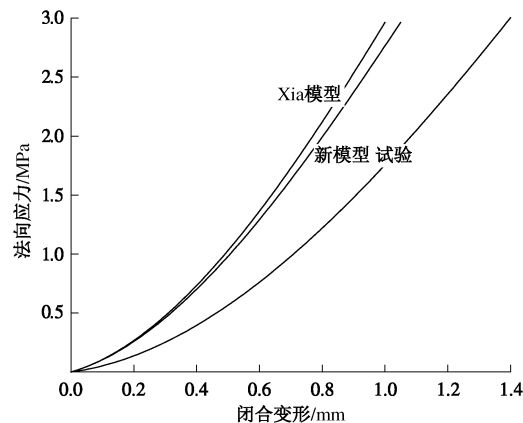


图 6 闭合变形试验曲线

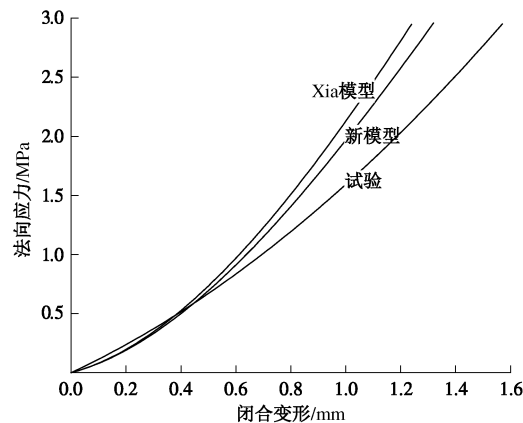
Fig. 6 Curves of closure deformation tests



(a) 错开位移量为5 mm



(b) 错开位移量为10 mm



(c) 错开位移量为15 mm

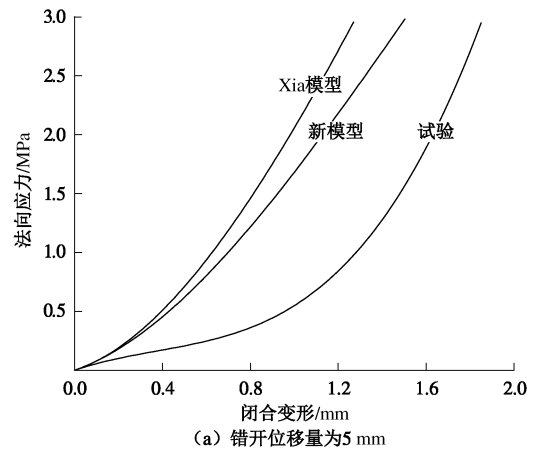
图7 试验曲线与模型计算曲线比较(J-I)

Fig. 7 Comparison between experimental and theoretical closure deformation curves for J-I

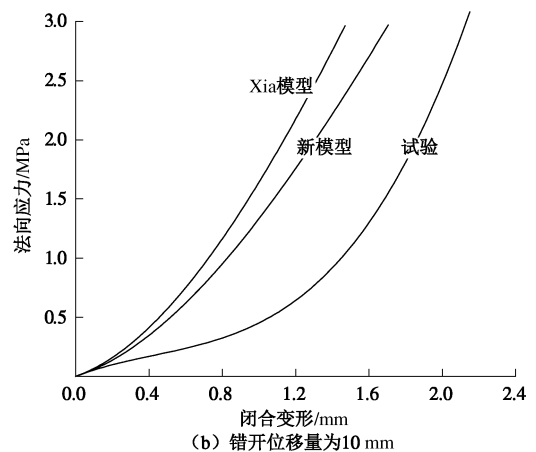
相互作用), 新模型计算值更为接近试验结果, 但二者之间仍然有较大的差距, 原因可能在于形貌参数的取值方法及节理初始开度的确定。对比 Xia 模型和新模型, 考虑微凸体变形相互作用后会得到更小的法向刚度计算值。

法向应力作用下节理的闭合变形与多个因素相关, 包括粗糙度、接触区域及其空间分布、形貌特征等^[9-10]。对岩石节理而言, 上述因素还具有方向性, 当节理的上、下面沿不同方向错开时, 对应的组合形

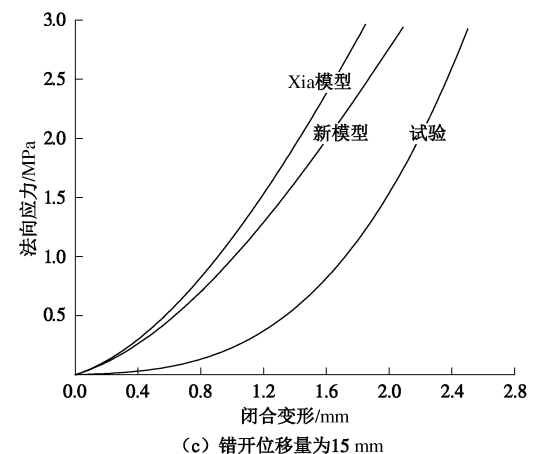
貌是不同的, 可推断出得到的闭合变形应该是不同的。Greenwood 模型并没有考虑这些因素, 因此当单节理的形貌相同时会得到相同的计算值; Xia 模型、新模型均克服了这一局限, 考虑了节理上、下面的接触对闭合变形的影响。需要特别注意的是, 节理在闭合变形的过程中, 粗糙度、起伏度会出现动态调整, 表明接触处的摩擦会逐步产生变化, 可宏观表现为闭合过程的法向刚度的变化。



(a) 错开位移量为5 mm



(b) 错开位移量为10 mm



(c) 错开位移量为15 mm

图8 试验曲线与模型计算曲线比较(J-II)

Fig. 8 Comparison between experimental and theoretical closure deformation curves for J-II

表 2 模型参数
Table 2 Input parameters for validity of proposed model

错开位移量 /mm	J-I				J-II			
	η / mm^{-2}	β / mm	R	e_0	η / mm^{-2}	β / mm	R	e_0
5	0.1666	6.3248	∞	1.36	0.0970	5.1626	141.8	2.18
10	0.1727	6.2276	∞	1.93	0.0950	5.4584	144.3	2.66
15	0.1738	6.4430	∞	2.24	0.0955	5.3642	143.2	3.02

注： η 为峰点密度； β 为峰点平均曲率半径； R 为起伏体半径。

4 结 论

(1) 依据弹性接触理论，提出考虑微凸体变形相互作用影响的节理闭合变形理论模型，并采用闭合变形试验对新模型进行验证，比不考虑微凸体变形相互作用影响的 Xia 模型更接近试验值，由新模型得到的法向刚度更小。

(2) 新模型采用均布荷载体现微凸体变形相互作用对闭合变形的影响。

(3) 新模型适用于节理的 3 种接触类型，可体现组合形貌、起伏度、初始开度对闭合变形的影响。

致 谢： 本文的试验工作是笔者在同济大学攻读博士学位所做的工作，感谢导师夏才初教授的指导和宋英龙硕士的帮助。

参考文献：

[1] BANDIS S C, LUMSDEN A C, BARTON N. Fundamentals of rock joint deformation[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1983, **20**(6): 249 - 268.

[2] TANG Z C, LIU Q S, XIA C C, et al. Mechanical model for predicting closure behavior of rock joints under normal stress[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2014, **47**(6): 1 - 12.

[3] GOODMAN R E. Methods of geological engineering in discontinuous rocks[M]. New York: West, 1976.

[4] BARTON N, BANDIS S C, BAKHTAR K. Strength, deformation and conductivity coupling of rock joints[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1985, **22**(3): 121 - 140.

[5] MALAMA B, KULATILAKE P H S W. Models for normal fracture deformation under compressive loading[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2003, **40**(6): 893 - 901.

[6] SWAN G. Determination of stiffness and other joint properties from roughness measurements[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 1983, **16**(1): 19 - 38.

[7] 俞 缙, 赵晓豹, 赵维炳, 等. 改进的岩石节理弹性非线性法向变形本构模型研究[J]. 岩土工程学报, 2008, **30**(9): 1316 - 1321. (YU Jin, ZHAO Xiao-bao, ZHAO Wei-bing, et al. Improved nonlinear elastic constitutive model for normal deformation of rock fractures[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, **30**(9): 1316 - 1321. (in Chinese))

[8] 唐志成. 考虑扰动影响的节理与柱状节理岩体的力学性质[D]. 上海: 同济大学, 2013. (TANG Z C. Mechanical behaviors of rock joint under different contact state and columnar jointed rock mass[D]. Shanghai: Tongji University, 2013. (in Chinese))

[9] COOK N G W. Natural joints in rock: Mechanical, hydraulic and seismic behaviour and properties under normal stress[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1992, **29**(3): 198 - 223.

[10] HOPKINS D L. The implications of joint deformation in analyzing the properties and behavior of fractured rock masses, underground excavations, and faults[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2000, **37**(1/2): 175 - 202.

[11] LEE S D, HARRISON J P. Empirical parameters for non-linear fracture stiffness from numerical experiments of fracture closure[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2001, **38**(5): 721 - 727.

[12] MARACHE A, RISS J, GENTIER S. Experimental and modelled mechanical behaviour of a rock fracture under normal stress[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2008, **41**(6): 869 - 892.

[13] GREENWOOD J A, WILLIAMSON J B P. Contact of nominally flat surfaces[J]. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, 1966, **295**: 300 - 319.

[14] GREENWOOD J A, TRIPP J H. The contact of two nominally flat rough surfaces[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1970, **185**(1): 625 - 633.

[15] YAMADA K, TAKEDA N, KAGAMI J, et al. Mechanisms of

- elastic contact and friction between rough surfaces[J]. *Wear*, 1978, **48**(1): 15 - 34.
- [16] BROWN S R, SCHOLZ C H. Closure of random elastic surfaces in contact[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1985, **90**(B7): 5531 - 5545.
- [17] BROWN S R, SCHOLZ C H. closure of rock joints[J]. *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, 1986, **91**(B5): 4939 - 4948.
- [18] MATSUKI K, WANG E Q, SAKAGUCHI K, et al. Time-dependent closure of a fracture with rough surfaces under constant normal stress[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2001, **38**(5): 607 - 619.
- [19] 唐志成, 夏才初, 宋英龙, 等. 考虑基体变形的节理闭合变形理论模型[J]. *岩石力学与工程学报*, 2012, **31**(增刊 1): 3068 - 3074. (TANG Zhi-cheng, XIA Cai-chu, SONG Ying-long, et al. Joint closure deformation model based on asperity-substrate deformation[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2012, **31**(S1): 3068 - 3074. (in Chinese))
- [20] ISRM. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 1978, **15**(6): 319 - 368.
- [21] XIA C C, YUE Z Q, THAM L G, et al. Quantifying topography and closure deformation of rock joints[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2003, **40**(2): 197 - 220.
- [22] TIMOSHENKO S, GOODIER J N. *Theory of elasticity*[M]. New York: McGraw-Hill, 1970.
-

第六届中日岩土工程学术会议

(2015 年 8 月 31~9 月 1 日 日本 北海道)

二号通知

主办单位: 中国土木工程学会土力学及岩土工程分会; 日本地盘工学会。

会议主题: 中日岩土工程新进展。

会议语言: 英语。

会议专题: 地下空间技术; 环境岩土工程; 地基处理; 防灾减灾; 桩基工程; 隧道工程; 土的特性及其模拟; 地震工程; 数值模拟。

重要日期: ①2015 年 4 月 15 日前, 提交全文; ②2015 年 6 月 15 日前, 论文录用通知; ③2015 年 8 月 31~9 月 1 日, 会议。

注意事项: ①直接提交全文 (.doc 和.pdf 文件), 全文长度在 4~6 页; ② 论文格式按照本次会议版式排版 (见附件);

③所有论文将正式出版 (第三届中国岩土工程会议论文集已被 ISTP 检索, 第五届岩土工程会议论文集已被 EI 检索, 本次会议论文争取 EI 检索)。本次会议在日本北海道举行, 预计参加会议的人会比较。由于会议接待条件有限, 中方参加会议人数暂定 40 人左右。参会资格以大家论文被录用的投稿时间和本人所在单位参会人数来考虑。欢迎大家积极投稿, 投稿信箱 chinajapanconf6@163.com。

联系人: 姚仰平, 胡伟 (电话: 18628195933), 韩剑 (电话: 18696458497)。

联系地址: 清华大学水利系岩土所土力学及岩土工程分会, 邮编: 100084; 北京航空航天大学交通学院机场系, 邮编: 100191。