DOI：10.16285/j.rsm.2017.0040

关于“基于宏细观损伤耦合的非贯通裂隙岩体本构模型”的讨论

郭 豪

（重庆交通大学 土木工程学院，重庆 400074）

中图分类号：TU 452 文献标识码：A 文章编号：1000－7598 (2018)05－1923－02

袁小清等的论文《基于宏细观损伤耦合的非贯通裂隙岩体本构模型》[1]，（以下称为原文）于 2015 年 10 月刊发在《岩土力学》第 36 卷第 10 期上。原文对耦合损伤理论进行了非常有意义的讨论，笔者有几点疑问，故提出与作者袁小清商榷。

笔者采用符号参数如无说明，则其含义与原文相同。以下是讨论的内容：

（1）节理裂隙平均体积密度 ρ_v 算法问题

原文指出，ρ_v 按照文献[2]的方法计算。仔细阅读文献[2]，并没有给出 ρ_v 的计算方法。研读原文第 4 节（计算实例与模型验证）和原文引用的文献[3]资料，原文中计算参数 ρ_v 是由节理的个数除以单位厚度二维模型的体积，而与试件的厚度 B 无关，即 $\rho_v = 25/(15\ \text{cm}\times 15\ \text{cm}\times 1\ \text{cm}) = 0.11\ \text{cm}^{-3}$，如果按照此算法，原文式（16）计算的损伤变量值 D_1 将与试件厚度 B 有关，二维模型中的节理裂隙布置方式不变，随着厚度 B 的增加，D_1 急剧减小，与理论上 D_1 应保持恒定相悖，不知作者原文中如何计算平均体积密度 ρ_v？

（2）传压传剪修正系数问题

原文指出，式（22）优点的表述为“由该方法求出的损伤变量不但很好地考虑了裂隙的方向及几何尺寸特性，而且还同时考虑了裂隙面的强度参数和试件尺寸对损伤的影响。由此求出的裂隙岩体损伤模型将更符合实际情况，无需采用裂隙的传压及传剪系数对其进行修正”。实际上原文式（22）是基于节理裂隙面理想完全闭合、裂隙面上的法向应力和裂隙面间的应力完全抵消推导得出，即认为裂隙的传压系数为 0[4–5]，故认为此段中“无需采用裂隙的传压及传剪系数对其进行修正”应修改为“无需采用裂隙的传剪系数对其进行修正，传压系数等于 0”，不知原文作者根据式（22）得出“无需采用裂隙的传压及传剪系数对其进行修正”是出于何种考虑？由于原文第 4 节采用的是张开节理的试验数据验证，本文基于理想闭合节理得出的理论，并没有考虑法向的能量损伤，所以对原文“无需采用裂隙的传压及传剪系数对其进行修正”的理解非常重要，否则，原文第 4 节计算实例与模型验证部分将与本文理论部分不匹配。由于张开型节理裂隙和闭合型节理的理论有比较大的差异[4–5]，根据两种节理的不同，笔者单独列出，并与原文作者讨论。

（3）张开型节理与闭合节理的差异

原文前半部分成果主要是由闭合节理裂隙计算得出，第 4 节计算实例与模型验证部分采用陈新等基于张开型节理的室内试验数据进行验证。对于张开型节理裂隙，法向有效强度因子[4, 6]将不可忽略，设法向有效应力为 σ_{neff}，则原文式（21）应改写为

$$\left.\begin{aligned} K_{\text{I}} &= -\frac{2a(\tau_{\text{eff}} - \sigma_{\text{eff}})\sin\theta}{\sqrt{\pi l^*}} \\ K_{\text{II}} &= -\frac{2a(\tau_{\text{eff}} + \sigma_{\text{eff}})\cos\theta}{\sqrt{\pi l^*}} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

原文采用图 1 计算模型翼裂纹扩展角度 θ，对于张开型节理不再是原文固定的值 70.5°，而是与节理倾角 α、有效切向应力和有效法向应力比值有关的一个函数[6–8]，变化范围较大从 40°～140°之

收稿日期：2017-01-07
第一作者简介：郭豪，男，1993 年生，硕士研究生，主要从事道路设计及路基路面研究工作。E-mail：2469450201@qq.com

间，同时考虑尖端强度因子奇异性型引入的有效长度l^*也不再是一个常量 $0.27a$，而是一个与翼裂纹扩展角度θ、有效切向应力和有效法向应力比值有关的函数[6−8]。由此可见，闭合节理和张开型节理的算法有本质的区别，不知原文作者采用闭合型节理试验验证闭合节理裂隙理论的正确性，是出于何种考虑？

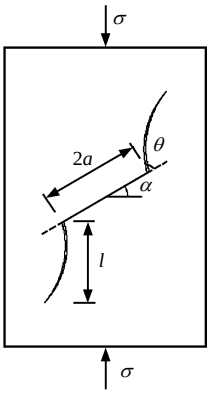

图 1 翼裂纹扩展模型示意图

Fig.1 Schematic diagram of wing crack growth model

参 考 文 献

[1] 袁小清, 刘红岩, 刘京平. 基于宏细观损伤耦合的非贯通裂隙岩体本构模型[J]. 岩土力学, 2015, 36(10): 2804−2813.
YUAN Xiao-qing, LIU Hong-yan, LIU Jing-ping. Constitutive model of rock mass with non-persistent joints based on coupling macroscopic and mesoscopic damages[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2015, 36(10): 2804−2813.

[2] 朱维申, 张强勇. 节理岩体脆弹性断裂损伤模型及其工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(3): 245−249.
ZHU Wei-shen, ZHANG Qiang-yong. Brittle elastic fracture damage constitutive model of jointed rock mass and its application to engineering[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 1999, 18(3): 245−249.

[3] 陈新, 廖志红, 李德建. 节理倾角及连通率对岩体强度、变形影响的单轴压缩试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(4): 781−789.
CHEN Xin, LIAO Zhi-hong, LI De-jian. Experimental study of effects of joint inclination angle and connectivity rate on strength and deformation properties of rock masses under uniaxial compression[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2011, 30(4): 781−789.

[4] 陈文玲, 李宁. 含非贯通裂隙岩体介质的损伤模型[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(4): 430−434.
CHEN Wen-ling, LI Ning. Damage model of the rock mass medium with intermittent cracks[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2000, 22(4): 430−434.

[5] TOSHIKAZU KAWAMOTO, YASUAKI ICHIKAWA, TAKASHI KYOYA. Deformation and fracture behaviour of discontinuous rock mass and damage mechanics theory[J]. **International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics**, 1988, 12(3): 1−30.

[6] COTTERELL B, RICE J R. Slightly curved or kinked cracks[J]. **International Journal of Fracture**, 1980, 16(2): 155−169.

[7] WONG L N Y, EINSTEIN H H. Crack coalescence in molded gypsum and carrara marble，Part 1: macroscopic observations and interpretation[J]. **Rock Mechanics and Rock Engineering**, 2009, 42(3): 475−511.

[8] ZHANG XIAOPING, NGAI LOUIS, WONG YUEN. Cracking processes in rock-like material containing a single flaw under uniaxial compression: a numerical study based on parallel bonded-particle model approach[J]. **Rock Mechanics and Rock Engineering**, 2012, 45(5): 711−737.