

# 对“基于宏细观损伤耦合的非贯通裂隙岩体本构模型”讨论的答复

袁小清<sup>1</sup>, 刘红岩<sup>2</sup>

(1. 中国建筑西南勘察设计研究有限公司, 四川 成都 610052; 2. 中国地质大学(北京) 工程技术学院, 北京 100083)

中图分类号: TU 452

文献标识码: A

文章编号: 1000-7598(2018)05-1925-02

在《基于宏细观损伤耦合的非贯通裂隙岩体本构模型》<sup>[1]</sup>一文中(以下简称原文),我们主要有两个意图:①目前所建立的损伤模型较少有同时考虑裂隙岩体宏细观损伤两种不同维度的损伤变量因子;②裂隙岩体宏观损伤变量在刻画上应尽可能将宏观裂隙几何力学特性同时考虑。鉴于上述想法,基于 Lemaitre 应变等效假设,推导了考虑宏观缺陷耦合的复合损伤变量,并给出同时考虑试件尺寸、裂隙几何与力学特性的宏观损伤变量的计算公式,从而建立了基于宏细观缺陷耦合的非贯通裂隙岩体在荷载作用下的损伤本构模型。郭豪老师对原文很感兴趣,很高兴在此做一些讨论。

## (1) 节理裂隙平均体积密度 $\rho_v$ 算法问题

原文式(16)中平均体积密度  $\rho_v$  是按照原文所指定文献[2]的定义方法来计算的,即单位体积岩体内所含有的节理裂隙数量。原文第 4 节(计算实例与模型验证)计算参数  $\rho_v$  是由节理的个数除以单位厚度二维模型的体积,即  $\rho_v = 25 / (15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}) = 0.11 \text{ cm}^{-3}$ 。

这样计算有两方面考虑,一是从理论上讲,原文式(16)仅仅针对平面应力问题。二是为便于理论和试验结果相对照,实际受荷的有限三维板在计算时,概化成二维模型考虑,因此在计算平均体积密度时, $B$  取单位长度。

平面应力问题要求受荷方向的平面尺寸要远远大于侧向尺寸,从理论上讲,裂隙深度  $B$  应当足够小。故而式(25)、(26)随着厚度  $B$  的增加, $D_1$  急剧减小的情形不会出现。

## (2) 传压传剪修正系数问题

确如郭豪老师所言,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<sup>[3-4]</sup>,因此,“无需采用裂隙的传压及传剪系数对其进行修正”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”,确为恰当。

## (3) 张开型节理与闭合节理的差异

有限体的三维断裂是一个复杂的系统,研究尚存在诸多困难,尤其是理论研究与试验结果的相互验证。三维有限体试验加载取得试验数据相对容易,而理论研究困难。因此,很多学者将三维模型概化为二维模型加以研究,虽然理论研究相对容易,但是薄板试样的制作与试验给研究带来了不少瓶颈。

对于张开型节理与闭合节理的差异已经有众多学者在理论上加以研究<sup>[3-7]</sup>,郭豪老师也由此对原文进行了讨论。原文第 4 节采用的是张开节理的试验数据来讨论理论模型,在理论模型和试验数据的互相验证上,因预制裂隙试件为张开型,所以式(26)在计算时按内摩擦角取 0 来考虑。通过分析和对比发现,内摩擦在张开型裂隙中可以忽略,但对闭合型裂隙岩体的受荷力学行为影响较大,这一部分内容在原文最后进行了专门的讨论和分析。诚如所言,闭合节理和张开型节理在理论算法的构建上有本质的区别<sup>[5-7]</sup>,每一种理论算法也有各自成立的先决条件。原文对断续裂隙岩体的研究是一次有益尝试,严格来讲,理论模型的构建应该包含郭豪老师所考虑的各种影响因子,由于有限体的三维断裂损伤涉及到众多影响因素,其宏细观裂纹耦合机制十分复杂,加之验证的岩石试样有限,因此有些结论只是初步的,普遍性结论有待大量细致的理论研究和试验验证。

## 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.
- [4] 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(1): 1—30.
- [5] COTTERELL B, RICE J R. Slightly curved or kinked cracks[J]. **International Journal of Fracture**, 1980, 16(2): 155—169.
- [6] 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): 513—545.
- [7] ZHANG Xiao-Ping, WONG L N Y. 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.

(接第 1916 页)

## 《岩土力学》2017 年第 6 期被 EI 收录论文 (36 篇, 收录率 100 %) (2)

序号	论文题名	作者	页码
21	P 波斜入射陡坎地形对地面运动的影响	丁海平, 于彦彦, 郑志法	1716—1724
22	南票矿区松散层土体结构性参数试验研究	刘文生, 吴作启, 梁怀杰	1725—1732
23	基于滑移线场理论的地震作用下土质边坡稳定性分析	龚文惠, 陈训龙, 邱金伟, 等	1733—1738
24	基于实测变形的雾江滑坡体弹-黏塑性参数反馈	黄耀英, 孙冠华, 李春光, 等	1739—1745
25	非连续变形分析的精度改进方法及研究趋势	刘泉声, 蒋亚龙, 何 军	1746—1761
26	基于单元状态指标的盾构隧道水-力耦合模拟分析	马春景, 姜谔男, 江宗斌, 等	1762—1770
27	考虑粒间滚动阻力的 CFD-DEM 流-固耦合数值模拟方法	王 胤, 艾 军, 杨 庆	1771—1780
28	路基土体“锅盖效应”的数值模拟分析	宋二祥, 罗 爽, 孔郁斐, 等	1781—1788
29	模拟水压致裂的另一种二维 FDEM-flow 方法	严成增	1789—1796
30	黏弹-双曲线 Drucker-Prager 塑性模型应力更新隐式算法	闫富有, 常 键, 刘忠玉	1797—1804
31	岩石材料冲击压缩特性细观模拟方法研究	伍 杨, 张先锋, 熊 玮, 等	1805—1812
32	渗透系数对砂土液化震陷影响的数值研究	王 禹, 高广运, 顾晓强, 等	1813—1818
33	热力耦合界面模型在 COMSOL 中的开发应用	费 康, 刘汉龙, 孔纲强, 等	1819—1826
34	基于强度折减法确定边坡临界滑面的小波变换法	聂治豹, 郑 宏, 张 谭	1827—1831
35	新型土工单轴拉伸试验装置的研制及应用	崔 猛, 韩尚宇, 洪宝宁	1832—1840
36	一种新型动单剪仪的研发与试验验证	邵生俊, 王 强, 吴飞洁	1841—1848