

对“大理岩孔道试样的强度及变形特性的试验研究”的讨论

DISCUSSION ON “EXPERIMENTAL STUDY ON STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF HOLLOW CYLINDRICAL SPECIMENS OF MARBLES”

杨圣奇(YANG Shengqi)

(河海大学 岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

(Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2008)08 - 1722 - 03

1 引言

笔者于2008年3月份学习了尤明庆教授等^[1]在《岩石力学与工程学报》2007年第26卷第12期上发表的“大理岩孔道试样的强度及变形特性的试验研究”一文(以下简称“原文”),对其其中的一些试验现象及解释存有困惑,不揣浅陋,特提出来向各位同行请教。

2 讨论

(1) 岩石材料具有明显的非均质性,试样之间存在着差异性,而在完整试样中采用钻进法加工内孔,形成孔道试样,内孔的加工质量会进一步增大试样之间的离散性。原文中也已经指出加工孔径为5 mm的大理岩试样的内孔需要从试样两端钻进,会引起更大的差异。这实质上说明,最终影响大理岩孔道试样强度的主要有3个因素:① 由于材料非均质性引起强度的离散性;② 孔道试样内孔加工质量引起强度的离散性;③ 孔道直径对强度的影响。

原文对孔径为0时的中晶大理岩(完整试样)单轴压缩下进行了5个试样,如图1所示。结果表明了试样强度之间的最大差异达到3.5 MPa,试样强度之间的最小差异约为0.5 MPa,而其他孔径下的试验均只进行了2个中晶大理岩试

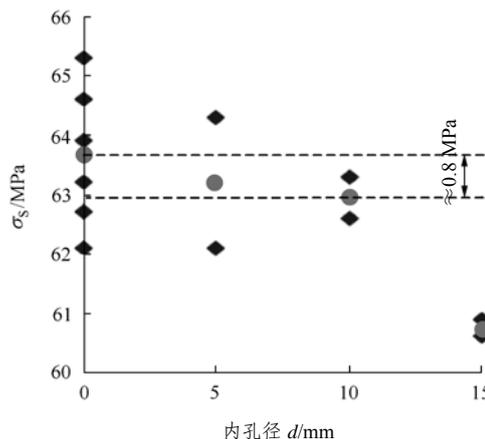


图1 中晶大理岩单轴压缩强度与内孔径的关系^[1]

Fig.1 Relation between UCS of medium marble and diameter of inner hole^[1]

样。从图1可以看出,孔径为5 mm时的2个试样强度之间的差异高达2.5 MPa,这充分说明孔道试样内孔加工质量引起强度较大的离散性。孔径为 ϕ 10 mm时的2个试样强度之间的差异也约为0.5 MPa,与孔径为0时的试样强度之间的最小差异相当。孔径为 ϕ 15 mm时的2个试样强度之间的差异小于0.5 MPa。但所有的这些强度数据在原文图2中并没有对应的应力-应变曲线,也缺乏相应的表格来说明这点。既然原文和缙勇等^[2]是要研究大理岩孔道直径对强度和变

收稿日期: 2008 - 04 - 30; 修回日期: 2008 - 07 - 09

作者简介: 杨圣奇(1978 -), 男, 博士, 2006年于河海大学获岩土工程专业博士学位, 主要从事岩石力学室内试验与基本理论及其工程应用方面的研究工作。E-mail: yangsqi@hotmail.com

形特性的影响,那么首先必须要明确由于材料非均质性引起强度的离散性以及孔道试样内孔加工质量引起强度的离散性,但两文没有相应的说明,且原文对于细晶大理岩材料的非均质性引起强度的离散性以及孔道试样内孔加工质量引起强度的离散性完全没有涉及。此外两文对于围压作用下各个孔径的大理岩都只进行了惟一的 1 个试样,须知即使在围压作用下,岩石试样之间也会有较大的离散性,如原文中的图 8,围压 5 MPa 时两个完整细晶大理岩试样的强度差异高达 5 MPa。

(2) 基于上述分析,笔者认为原文中给出的中晶大理岩单轴压缩强度与孔径的关系,更多的只是由于材料非均质性和加工质量所引起的离散性,而孔径对中晶大理岩单轴压缩强度的影响完全被这种离散性所掩盖。这在孔径小于等于 10 mm 以内时尤为明显。图 1 中给出的试验点为各个孔径下所有试样的近似平均值(注:因笔者没有相应试验数据,无法做出精确估计,建议原文作者应该以表格的形式列出详细的数据,这样便于读者理解),可以看出在孔径小于等于 ϕ 10 mm 以内的情况下,孔径对中晶大理岩单轴压缩强度可以说没有影响,孔径 ϕ 0~10 mm 的大理岩单轴压缩强度平均值差异仅约为 0.8 MPa,这显著低于由材料非均质性和加工质量所引起的离散性。而在孔径 ϕ 10 mm 之后只有 1 个 ϕ 15 mm 的试样,那么仅以这 1 个孔径尺寸中晶大理岩的强度,很难得到“试样单轴压缩强度确实存在随孔径增大而降低的趋势”。而且如果以平均强度来看的话,从孔径 ϕ 10 mm 到 ϕ 15 mm 的过程中,中晶大理岩强度突然降低,强度降低幅度超过从 ϕ 0~10 mm 的平均强度降幅的 3 倍左右。对导致这种现象的原因在原文并没有给出相应的解释。

(3) 原文节 2 中指出:为简单起见,在计算试样总的轴向承载能力时全部采用式(7),这样结果会稍微偏大,但相差在 0.5% 以内。于是试样内各点的单轴压缩强度为

$$\sigma_s = Q + K \frac{\sigma_r + \sigma_\theta}{2} = Q + \frac{KP}{1-\eta^2} \quad (1)$$

式(1)对应于原文的式(11)。显然,可以看出,式(1)与围压 P 有关,因而这里的解释“于是试样内各点的单轴压缩强度”应该为试样内各点三轴压缩强度,而并非“单轴压缩强度”。当围压 $P = 0$ 时,式(1)才表示试样内各点单轴压缩强度,即 $\sigma_s = Q$ 。因而后面“式(1)表明,试样内各点单轴压缩强度与径向位置 r 无关,因而也就是整个试样的单轴压缩强度。该值大于相同围压下完整试样的单轴压缩强度”也就应该为:式(1)表明,试样内各点单轴压缩强度 Q 与径向位置 r 无关, Q 值大于相同围压下完整试样的单轴压缩强度。

(4) 原文中节 4 提到:“……依据式(5)估算的孔道试样强度,应该比完整岩样强度低 0.3P 左右……”。可能存在笔误,这里的“式(5)”应该是式(6)。

(5) 原文的式(15)可能属于误写,正确应为

$$\sigma_1 - P = \frac{F}{\pi(R^2 - r_0^2)} + \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} P \quad (2)$$

(6) 缙 勇等^[2]分析了与原文中相同的含不同孔径尺寸中晶大理岩试验结果,并列出了表 1 所示的相关强度、弹性模量(或平均模量)以及变形模量等力学参数。需要指出的是,两文分析的中晶大理岩为同一组试验结果的重复使用。根据弹性模量(平均模量)试验数据,笔者做出如图 2 所示的完整试样和孔径为 ϕ 10 mm, ϕ 15 mm 孔道试样的平均模量随围压的变化关系,并将此与原文中图 12 给出的同种中晶大理岩试验结果进行比较。然而笔者发现,两文基于相同中晶大理岩试验曲线,却得到相差甚远的两组弹性模量值,所以两文试验结果有一组是有误的或两组数据均存有疑惑。

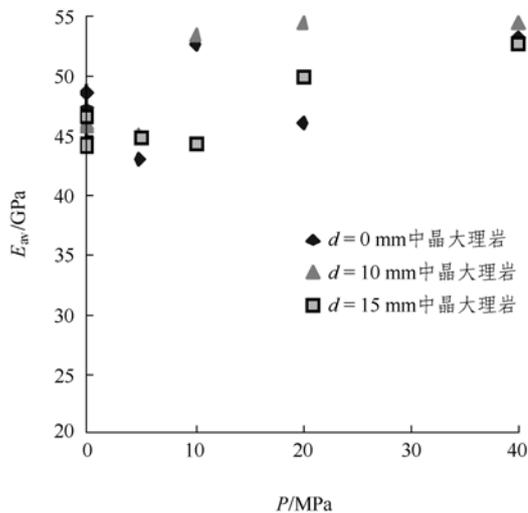


图 2 根据表 1^[2]所列试验数据作出的不同孔径中晶大理岩试样平均模量与围压的关系

Fig.2 Relation between average moduli of specimens with various inner diameters and confining pressures according to Table 1^[2]

此外,需要特别指出的是,缙 勇等^[2]给出的中晶大理岩试验结果并没有围压 30 MPa 时不同孔径岩样的数据,但原文却给出了围压 30 MPa 时不同孔径岩样的数据。尽管其图 10, 11 中均给出围压 30 MPa 时不同孔径岩样的数据,但所列的试验值值得商榷,且图 9 所示的不同孔径中晶大理岩试样三轴压缩主应力差-应变曲线中给出了围压 5, 10, 20 和 40 MPa,然而却不存在围压 30 MPa 时的试验曲线,让人更进一步怀疑围压 30 MPa 时的试验结果真实性。

(7) 原文中所给出的围压 30 MPa 时中晶大理岩试验数据的真实性值得怀疑,其给出的“从图 10 (即本文的图 3)可以看出,在围压 20 MPa 以内,孔径对试样的强度没有明显影响,在 20 MPa 时 4 种岩样的强度几乎完全相同,而围压大于 20 MPa 之后,岩样强度随孔径增大而显著减小”这种结论似有不妥。原因为:原文中的图 8 给出了完整岩样和孔径为 ϕ 10 mm 的大理岩试样的强度和围压的关系。可看出,

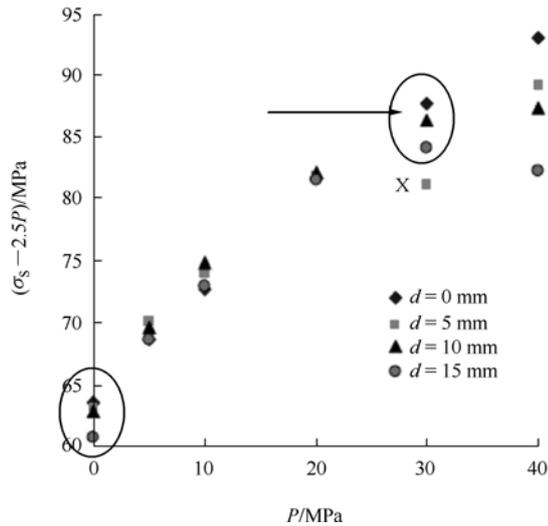


图3 不同孔径中晶大理岩试样强度与围压的关系^[1]

Fig.3 Relation between strengths of medium marble specimens with various inner diameters and confining pressure^[1]

围压 30 MPa 以内，孔径对完整岩样和孔径为 $\phi 10$ mm 大理岩试样的强度没有明显影响，即使在围压 40 MPa 时，完整岩样和孔径为 $\phi 10$ mm 的大理岩试样强度仅差 5.7 MPa。图 3 中给出的围压 30 MPa 时孔径为 5 mm 大理岩试样的强度显著低于孔径为 $\phi 10$ mm 和 $\phi 15$ mm 的大理岩试样。原文对此的解释是：估计与孔道加工质量有关。既然如此，那就意味着孔道加工质量会显著影响试样的强度，但其试验前对所有试样的孔道加工质量并没有进行考察。设想一下，如果“围压大于 20 MPa 之后，岩样强度随孔径增大而显著减小”成立的话，那么孔径为 $\phi 5$ mm 的大理岩试样的强度应该在完整试样和孔径为 $\phi 10$ mm 试样之间(图 3 中箭头所指处)；如果不考虑围压 30 MPa 时的孔径 $\phi 15$ mm 岩样强度，在该围压下，孔径($\phi 0 \sim 10$ mm)对岩样强度没有明显影响，或者说，孔径对强度的影响小于试样非均质性和加工质量两者综合所引起的离散性。而且从图 3 中圆圈内所标注的完整岩样，孔径为 $\phi 5$ mm， $\phi 10$ mm 和 $\phi 15$ mm 的孔径岩样强度之间的最大差异也不到 4 MPa，这与单轴压缩下完整岩样和孔道岩样强度之间的最大差异大致相当，而且需要指出的是，图 3 中所给出的单轴压缩强度是平均值，而笔者在节 1 已经指出对于完整岩样，由于材料非均质性所引起岩样强度之间的最大差异就达到了 3.5 MPa。因此，由于孔道加工质量、材料非均质性的影响，围压 30 MPa 时完整岩样和孔道岩样强度的微小差异不足以说明仅仅是孔径对强度的影响规律，所以原文中的“围压大于 20 MPa 之后，岩样强度随孔径增大而显著减小”也就不能成立。此外，缙勇等^[2]依据与原文完全相同的试验结果，得到的结论是：“低围压时不同孔径大

理岩试样强度和变形无明显差异；当围压达到 40MPa 时，随着孔道直径的增大，试样强度逐渐减小，峰值变形也逐渐变小”，这与原文中的阐述不同。

(8) 原文中探讨试样达到承载极限时材料强度与围压和孔径的关系，可能仅适用于所试验材料中晶大理岩，并不能类推到其他任何岩石。即便是同种大理岩石材料，由于内部晶粒尺寸的差异，随着围压的增加，孔径尺寸对岩样强度的影响就完全不同。正如本文节 1 中所指出的那样，由于岩石材料非均质性、孔道试样内孔加工质量所引起的岩样离散性，完全可以掩盖掉孔径对岩样强度的影响。

基于原文图 8 可知，在单轴压缩时，孔径 $\phi 10$ mm 的细晶大理岩样强度略高于完整试样，围压 5 MPa 时两个完整细晶大理岩试样的强度差异高达 5 MPa，而其他 3 级围压下，完整试样仅一个试验点。围压 40 MPa 时孔径 $\phi 10$ mm 岩样和完整岩样之间强度差异甚至小于围压 5 MPa 时两个完整细晶大理岩试样的强度差异。因此，要定量讨论孔径对岩样强度的影响，一方面需要明确由于岩石材料的非均质性、孔道试样内孔加工质量所引起的岩样力学特性的离散性，另一方面也需要同一围压下较多岩样试验数据的支撑。

3 结 论

(1) 材料非均质性、孔道试样内孔加工质量以及孔道直径均会导致岩样强度的差异，即使存在围压的作用也不例外，而两文并没有对由于材料非均质性、孔道试样内孔加工质量所引起的岩样力学特性差异作出任何考察。完整岩样和孔道试样(尤其是孔径为 $\phi 0 \sim 10$ mm 的试样)力学特性微小的差异不足以说明仅仅是孔径对力学特性的影响规律。

(2) 两文基于相同中晶大理岩试验曲线，却得到相差甚远的两组弹性模量值，弹性模量的确定方法存在一些不妥，试验结果的真实性值得商榷，且两文研究缺乏必要的工程背景，仅仅依据几个岩块钻取的小尺度孔道岩样试验结果，恐怕很难为现场岩体工程变形和破坏特征提供实质性建议。

参考文献(References):

[1] 尤明庆, 苏承东, 缙勇. 大理岩孔道试样的强度及变形特性的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(12): 2 420 - 2 429. (YOU Mingqing, SU Chengdong, GOU Yong. Experimental study on strength and deformation properties of hollow cylindrical specimens of marbles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(12): 2 420 - 2 429.(in Chinese))

[2] 缙勇, 苏承东, 秦莞臻. 含孔道大理岩圆柱试样的尺寸效应[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(3): 302 - 305.(GOU Yong, SU Chengdong, QIN Guanzhen. Size effect of hollowed marble cylinder specimen[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2007, 24(3): 302 - 305.(in Chinese))