

关于 DDA 中推导热应力问题公式的讨论

张勇慧

(中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉 430071)

非连续变形分析(DDA)是近年来国际上流行的研究块体系统非连续变形和运动规律的新型数值方法。自90年代以来,国内外众多学者对其理论和工程应用做了大量的工作。DDA理论方面的进展有:块体的内部细分(子块体)、裂纹扩展模拟、圆形颗粒体、节理膨胀、高阶位移函数、拉格朗日接触约束、变弹簧刚度法、旋转块体的控制以及有限元与边界元的耦合等。工程应用有:岩石边坡稳定与加固、地下开挖、地基与基础、断裂模拟、块体的压实和碰撞、固流介质等。

《岩石力学与工程学报》2000年第5期发表的王书法、朱维申的文章“节理岩体热应力问题的非连续变形分析方法”^[1]对DDA方法中的热应力问题作了研究,将热应力问题等效为初始应力问题,这对DDA的理论体系是一个有益的补充。但该文假定“首先将块体的四周固定以使得块体的 x , y 与 xy 均等于0”。这个假定比较适合于在计算之初块体的温度产生了变化的情况,而对于在计算过程中温度产生变化的情况是不适合的。例如:工程施工过程中岩体的温度产生了变化,此时将热应力问题等效成初始应力显然是牵强的。因此,笔者尝试从传统的热能原理来推导热应力在DDA中的相关公式,以使得整个推导过程更完善,适用范围更广,并以此与同行们切磋讨论。

对于平面应力问题,设某一个块体内部的应力为 (x, y, xy) ,应变为 (x, y, xy) ,则有

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ xy \end{pmatrix} = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{pmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ xy \end{pmatrix} \quad (1)$$

令

$$[D_i] = (u_0 \quad \mu_0 \quad 0 \quad x \quad y \quad xy)^T$$

$$[E_i] = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{pmatrix}$$

则式(1)可改写为

$$(0 \quad 0 \quad 0 \quad x \quad y \quad xy)^T = [E_i][D_i] \quad (2)$$

设岩体的热膨胀系数为 α ,温度变化为 T ,那么由于温度变化产生的应变为

$$\left. \begin{matrix} xT = yT = \\ xyT = 0 \end{matrix} \right\} T \quad (3)$$

温度变化产生的应变势能可表示为

$$U = - \iint (xT \quad x + yT \quad y + xyT \quad xy) dx dy =$$

$$- T \iint (x + y + 0 \quad xy) dx dy =$$

$$- TS \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

令 $[i] = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0]^T$,并将式(2)代入式(4),得

$$U = - TS [D_i]^T [E_i]^T [i] \quad (5)$$

将上式对式(2)中矩阵 $[D_i]$ 的元素 d_{ri} 求偏导,得

$$f_r = - \frac{\partial U}{\partial d_{ri}} = \frac{\partial}{\partial d_{ri}} (S \quad T [D_i]^T [E_i]^T [i]) =$$

2000年10月9日收到来稿。

作者张勇慧简介:男,32岁,硕士,1991年毕业于华中理工大学力学系,现在香港理工大学攻读博士学位,主要从事岩土力学与工程数值方法的研究。

$$S \quad T [E_i]^T [\quad] = S \quad T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{E}{1 - \mu} \\ \frac{E}{1 - \mu} \\ 0 \end{pmatrix} [F_i] \quad (6)$$

$f_r (r = 1, 2, \dots, 6)$ 形成一个 6×1 阶子矩阵, 加到荷载矩阵 $[F_i]$ 中。

从公式上看, 本文式 (6) 与文 [1] 式 (7) 是一致

的。但本文是在块体已有应力、应变的基础上从势能原理推导出温度应力的影响, 不需要文 [1] 假设成块体的四周固定, 也不需要等效成初始应力, 可适用于不同状态下块体温度的变化。相比较而言, 本文的推导更科学, 更可信。

参 考 文 献

- 1 王书法, 朱维申, 郑少河. 节理岩体热应力问题的非连续变形分析方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(5): 643 ~ 646

DISCUSSION ABOUT THE THERMAL STRESS PROBLEM IN DDA METHOD

Zhang Yonghui

(Institute of Rock and Soil Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071 China)

《岩石力学与工程学报》2000 年发行分布统计图

在各方面的关心支持下,《岩石力学与工程学报》的发行量连续第 5 年超过千份, 并逐年提高, 向 2000 份逼近。2000 年本刊发行数量分布如下图(不含中国国际图书贸易总公司发行的海外订户)。本刊国内邮发代号 38-315, 漏订者仍可与编辑部联系订阅。自 2001 年开始, 在读学生可半价订阅, 详见随本期学报夹送的“学生半价订阅启事”。

