

Predição de propagação de fissuras através de modelos constitutivos locais e técnica de construção progressiva da trajetória de descontinuidade

O.L. Manzoli

Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP - Univ Estadual Paulista, Bauru, SP, Brasil

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Recebido a 21 de outubro de 2010

Aceite a 24 de maio de 2011

On-line a 26 de agosto de 2011

Palavras chave:

Localização de deformações
Elementos finitos com descontinuidade embecida
Modelo de fissuras distribuídas
Trajetória de fissura
Dependência da malha

Keywords:

Strain localization
Embedded crack elements
Smearred crack model
Crack path
Mesh dependence

R E S U M O

Estudam-se os aspectos referentes à qualidade e objetividade das respostas obtidas com as diferentes formulações (simétrica e não-simétrica) de elementos incorporados com descontinuidade forte regularizada, assim como com a abordagem contínua (distribuída), combinando-se a lei de abrandamento dependente do tamanho do elemento com um esquema de construção progressiva da trajetória de descontinuidade. O estudo é realizado com base nos conceitos de consistência cinemática e estática das formulações de elementos com descontinuidade incorporada.

© 2010 CIMNE (UPC). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos os direitos reservados.

Prediction of crack propagation via local constitutive models with a scheme to track the discontinuity path

A B S T R A C T

This paper addresses the study of the quality and objectivity of responses obtained with the distinct formulations (symmetric and non-symmetric) of the discontinuity embedded finite elements, as well as with the local continuum approach (smearred model), in which the softening law dependent on the element size is combined with a scheme to track the discontinuity path. The study is based on the concepts of kinematic and static consistency of the embedded discontinuity formulations.

© 2010 CIMNE (UPC). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

1. Introdução

A simulação numérica da formação de descontinuidades em sólidos vem sendo desde longa data um dos temas de contínua pesquisa. Uma das opções muito recorridas refere-se ao emprego de meios contínuos não-lineares com abrandamento das tensões por deformações (*strain softening*). A idéia envolvida nessas aproximações consiste em descrever o processo de formação da descontinuidade mediante a perda de resistência do material em bandas estreitas, que, na situação limite de completa degradação do material, corresponderiam a superfícies de descontinuidade. A descontinuidade de deslocamentos é então representada de maneira distribuída, através de deformações localizadas no interior dessas pequenas regiões, denominadas bandas de localização.

Como já é bem conhecido, a abordagem contínua apresenta problemas numéricos quando aplicada a meios locais e independentes da velocidade (*rate-independent*). Tais meios não apresentam limitação intrínseca da largura da banda de localização de deformações, fazendo com que a situação teórica mais estável corresponda a uma banda de largura nula.

No contexto do Método dos Elementos Finitos (MEF) estabelece-se uma limitação numérica da largura da banda de localização. A mínima dimensão da região localizada corresponde ao domínio de um elemento, fazendo com que a resposta dependa do tamanho dos elementos empregados na malha. Além da dependência do tamanho, existe a dependência do alinhamento dos elementos na malha. Se os contornos do elemento não estiverem alinhados de maneira a poder reproduzir adequadamente os modos de deformação compatíveis com os modos de descontinuidade esperados, a largura da banda de localização pode abranger o domínio de vários elementos, alterando substancialmente a resposta.

Correio eletrônico: omanzoli@feb.unesp.br

Com o intuito de sanar essas deficiências inerentes aos modelos contínuos, foram propostas diversas alternativas, entre as quais está o emprego de meios contínuos especiais [1,29,15,14,4,5], que apresentam intrinsecamente a dimensão da zona de localização.

No que se refere ao emprego de meios contínuos locais, a dependência do tamanho dos elementos pode ser efetivamente resolvida mediante a consideração do «tamanho característico» do elemento finito na lei de abrandamento do modelo constitutivo [17]. Buscasse, com isso, fazer com que a energia total consumida no interior da banda de localização seja a mesma, independente do tamanho dos elementos que a constituem. No contexto da mecânica da fratura, a região de localização de deformações corresponde à zona de processo de fraturamento e a energia consumida corresponde à energia de fratura. Esse recurso é capaz de resolver de maneira aceitável a dependência do tamanho, mas não afeta a falta de objetividade no que se refere ao alinhamento da malha. Nesse sentido, mais recentemente foram obtidos progressos para a representação objetiva de bandas cisalhantes em situações incompressíveis ou quase-incompressíveis, através de técnicas de estabilização em formulações de elementos finitos mistos [6,7].

Em contraposição às modelagens contínuas, as descontínuas buscam representar geometricamente a presença das descontinuidades, seja através da reconstrução da malha de elementos finitos introduzindo novos contornos correspondentes aos faces das descontinuidades [9]; através do enriquecimento do campo de deslocamentos da malha de elementos finitos existente [3,8]; ou mediante o enriquecimento do campo de deformações de elementos com descontinuidade incorporada [18,27,2,28,10]. Para representar a propagação da descontinuidade, a primeira opção exige o emprego de técnicas de reconstrução adaptativa da malha, enquanto a última necessita de um esquema de construção da trajetória de descontinuidade para garantir continuidade da mesma entre elementos adjacentes [11,24].

Tanto a modelagem descontínua de elementos com descontinuidade incorporada como a modelagem contínua buscam representar a descontinuidade através de deformações inelásticas compatíveis com os modos de descontinuidade no interior do elemento. A existência desse aspecto comum entre as duas abordagens sugere que a sensibilidade da resposta ao alinhamento na modelagem contínua pode ser tratada com o mesmo esquema de construção da trajetória de descontinuidade da formulação de elementos finitos com descontinuidade incorporada. O esquema usa um critério objetivo para orientação da banda de localização em função do estado de tensões, independentemente dos contornos do elemento. A banda de localização fica então confinada à largura de um elemento, impondo-se que somente os elementos pertencentes à trajetória possam apresentar comportamento não-linear com abrandamento, permanecendo os demais elementos da malha em regime elástico-linear.

No presente trabalho estudam-se os aspectos referentes à qualidade e objetividade das respostas obtidas com as diferentes alternativas (não-simétrica e simétricas) de elementos com descontinuidade incorporada, e emprega-se a abordagem contínua, combinando-se a lei de abrandamento dependente do tamanho do elemento com um esquema de construção progressiva da trajetória de localização. O estudo é realizado com base nos conceitos de consistência cinemática e estática das formulações de elementos com descontinuidade incorporada.

2. Elemento finito com descontinuidade incorporada

Considere o elemento finito de três nós da figura 1(a), de domínio bidimensional Ω_e , atravessado por uma interface descontínua, S_e , que divide o elemento em duas partes isolando o nó 1 dos demais. Seja $\mathbf{n} = \{n_x, n_y\}^T$ o vetor unitário normal à interface, e $\mathbf{m} = \{m_x, m_y\}^T = \{0, 1\}^T$ o vetor unitário normal ao lado oposto ao

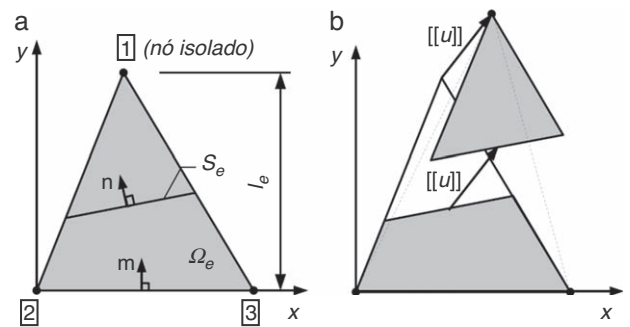


Figura 1. Elemento finito com descontinuidade incorporada.

nó isolado 1, de acordo com um sistema de referência cartesiano local (x, y) com o eixo x paralelo ao lado oposto ao nó isolado (ver figura 1(a)).

A presença da descontinuidade proporciona um deslocamento relativo do nó isolado com relação aos demais, que pode ser expresso da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{d}}_1 &= \llbracket \mathbf{u} \rrbracket \\ \hat{\mathbf{d}}_2 &= 0 \\ \hat{\mathbf{d}}_3 &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

onde o vetor $\hat{\mathbf{d}}_i$ ($i = 1, 2, 3$) agrupa as componentes dos deslocamentos de cada nó produzidos pela descontinuidade e $\llbracket \mathbf{u} \rrbracket$ é o vetor das componentes dos deslocamentos relativos na interface descontínua (ver figura 1(b)).

Os deslocamentos nodais produzidos pela descontinuidade, $\hat{\mathbf{d}}_i$, são provenientes de deslocamentos de corpo rígido entre as duas porções do elemento separadas pela descontinuidade. Portanto, ao determinarem-se as deformações, $\epsilon = \{\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}\}^T$, a partir dos deslocamentos nodais do elemento, \mathbf{d}_i , a componente dos deslocamentos nodais associados à descontinuidade deve ser subtraída, ou seja:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \sum_{i=1}^3 \mathbf{B}_i (\mathbf{d}_i - \hat{\mathbf{d}}_i) \\ &= \sum_{i=1}^3 \mathbf{B}_i \mathbf{d}_i - \mathbf{B}_1 \llbracket \mathbf{u} \rrbracket \\ &= \mathbf{B} \mathbf{d} - \hat{\epsilon} \end{aligned} \quad (2)$$

onde a matriz \mathbf{B} agrupa as matrizes \mathbf{B}_i (deformação-deslocamento) convencionais do M.E.F., o vetor \mathbf{d} agrupa os vetores de deslocamentos nodais de todos os nós, \mathbf{d}_i , e $\hat{\epsilon} = \mathbf{B}_1 \llbracket \mathbf{u} \rrbracket$ corresponde à parte das deformações associadas ao deslocamento de corpo rígido proveniente da descontinuidade. Segundo o sistema de referência local adotado, tem-se:

$$\begin{Bmatrix} \hat{\epsilon}_x \\ \hat{\epsilon}_y \\ \hat{\gamma}_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \llbracket u \rrbracket_x \\ \llbracket u \rrbracket_y \end{Bmatrix} = \frac{1}{l_e} \begin{Bmatrix} 0 \\ \llbracket u \rrbracket_y \\ \llbracket u \rrbracket_x \end{Bmatrix} \quad (3)$$

onde N_1 é a função de forma convencional do M.E.F. associada ao nó isolado e l_e é a distância entre o nó isolado e o seu lado oposto (ver figura 1.a), denominada aqui «comprimento característico» do elemento. Na equação (3) teve-se em conta que

$$\begin{aligned} \{\partial N_1 / \partial x, \partial N_1 / \partial y\} &= \{m_x / l_e, m_y / l_e\} \\ &= \{0, 1 / l_e\} \end{aligned} \quad (4)$$

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702668>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702668>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)