HAL open science

Modélisation micromécanique de l'endommagement par approches cohésives : quelques aspects théoriques et numériques

Nawfal Blal, Loïc Daridon, Yann Monerie, Stéphane Pagano

To cite this version:

Nawfal Blal, Loïc Daridon, Yann Monerie, Stéphane Pagano. Modélisation micromécanique de l'endommagement par approches cohésives : quelques aspects théoriques et numériques. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444894

HAL Id: hal-03444894

https://hal.science/hal-03444894v1

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation micromécanique de l'endommagement par approches cohésives : quelques aspects théoriques et numériques

N. BLAL[a], L. DARIDON[b,c], Y. MONERIE[b,c], S. PAGANO[b,c]

a. Université de Lyon, INSA-Lyon, LaMCoS UMR5259, F-69621, Villeurbanne, nawfal.blal@insa-lyon.fr

b. Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, Université Montpellier 2, CNRS, CC 048 Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier

c. Laboratoire de Micromécanique et d'Intégrité des Structures, CNRS-UM2-IRSN {loic.daridon,yann.monerie,stephane.pagano}@univ-montp2.fr

Résumé :

Un modèle micromécanique est proposé pour l'estimation du comportement effectif d'un milieu isotrope contenant une collection de zones cohésives aléatoirement réparties et distribuées. L'idée consiste à introduire un composite de type "matrice-inclusions cohésives" comme une représentation adéquate du milieu cohésif étudié. Le comportement effectif est ensuite estimé à l'aide des schémas d'homogénéisation linéaire et non-linéaire (estimation de Hashin Shtrikman et méthode sécante modifiée). Une analyse inverse des résultats obtenus permet d'obtenir des critères pratiques pour la calibration des paramètres cohésifs dans une approche numérique de type "méthode des éléments finis cohésifs-volumiques".

Abstract :

In this note, a micromechanical model is proposed for the estimate of the effective behavior of a an isotropic medium with embedded cohesive zones. The model is based on the introduction of a "matrix-cohesive inclusions" composite as a representation of the studied cohesive medium. The effective behavior is then derived using linear and non-linear homogenization schemes (Hashin Shtrikman estimate and secant modified method). An inverse analysis leads to a set of practical criteria for the calibration of the cohesive parameters in a numerical simulations as the "cohesive-volumetric finite element method".

Mots clefs : Micromécanique, Endommagement, Modèle de zones cohésives, Homogénéisation

1 Introduction

La méthode des éléments finis cohésifs-volumiques (EFCV) offre un cadre simple et efficace pour la simulation numérique des mécanismes de fissuration et d'endommagement (e.g [1]). Basée sur une

approche cohésive de l'endommagement, le principe de cette méthode consiste à décomposer le comportement local au niveau de la maille en un comportement volumique durcissant (intégré aux points de Gauss) et un comportement surfacique adoucissant (intégré aux interfaces). Le comportement surfacique est régi par des modèles de zones cohésives (MZCs) : relation liant l'effort résistant à la séparation de l'interface au saut de déplacement. Malgré tous les développements dédiés durant ces dernières années à l'utilisation des MZCs, la question liée au choix des paramètres d'une "loi" cohésive reste grandement ouvert. Une telle calibration doit être *robuste, prédictive et efficace* ; i.e. elle doit :1/ être applicable à tout type du comportement (fragile, ductile, etc), 2/ permettre de prédire le comportement global du matériau, aussi bien que 3/ d'éviter les pathologies de dépendance au maillage dues aux aspects adoucissants de l'endommagement. Dans cette communication, une méthode pratique pour la calibration des paramètres des MZCs est proposée. Cette méthode repose sur une modélisation micromécanique de l'endommagement sur la base d'une approche cohésive et des méthodes d'homogénéisation.

2 Comportement effectif d'un milieu cohésif-volumique

Le principe de l'approche est représenté sur FIGURE 1 : on considère un milieu non-linéaire 'cohésif-volumique' issu d'une discrétisation EFCV. Le maillage est supposé être isotrope (e.g. maillage de type Delaunay). D'un point de vue micromécanique, les éléments volumiques sont considérés comme une matrice isotrope et les zones cohésives comme des inclusions oblates (aspect de forme tend vers 0) à comportement anisotrope et qui sont aléatoirement orientées et réparties. Le comportement effectif issu de ce composite est asymptotiquement dérivé en deux étapes :

1. le comportement effectif linéaire élastique (matrice et MZCs élastiques) : l'estimation de Willis ([2]) est étendu au cas d'un milieu cohésif,
2. le comportement effectif non-linéaire (matrice et/ou MZCs non linéaire(s)) : le comportement de la phase non-linéaire est linéarisé à l'aide de la méthode sécante modifiée ([3]).

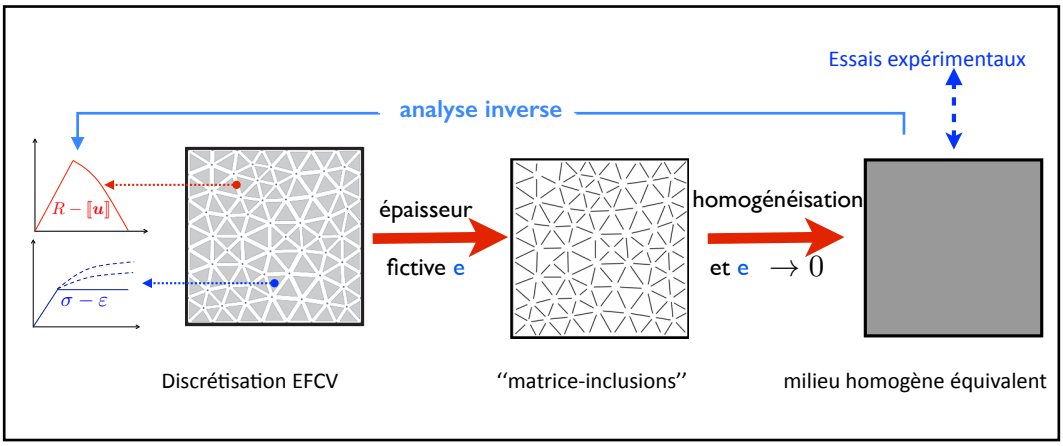

FIGURE 1 – Principe de l'approche.

Le modèle micromécanique proposé permet d'obtenir des relations explicites entre les paramètres cohésifs, les propriétés macroscopiques du matériau et les caractéristiques du maillage. L'intérêt du modèle proposé est qu'il est applicable indépendamment de la forme géométrique du MZC, 2/ du degré d'écrouissage du matériau et 3/ du chargement imposé. Notons aussi que ce modèle tient compte de l'information microstructurale liée à la distribution spatiale et aux orientations des interfaces cohésives.

Sa pertinence a été validée après une comparaison avec des résultats obtenus par homogénéisation numérique. Différents types de volume élémentaire représentatif ont été étudiés : maillage isotrope (e.g. Delaunay), maillage structuré, et calcul en maçonnerie.

3 Critères pratiques pour la calibration des MZCs

L'identification des relations macroscopiques obtenues par le modèle micromécanique au comportement du matériau (obtenu par exemple expérimentalement à partir de méthodes de corrélation d'images), conduit, après une analyse inverse, à un ensemble de *critères-ingénieur* pour calibrer les paramètres du MZC retenu ([4, 5]). Ces critères permettent une calibration judicieuse des raideurs cohésives (pour éviter la perte de raideur élastique intrinsèque aux MZCs), ainsi que des paramètres de MZCs fragile et ductile. Ils sont donnés en fonction des propriétés macroscopiques du matériau, de la triaxialité du chargement imposé (pour le cas ductile) ainsi que des caractéristiques du maillage utilisé (taille et morphologie).

Références

[1] F. Perales, S. Bourgeois, A. Chrysochoos, and Y. Monerie. Two field multibody method for periodic homogenization in fracture mechanics of non-linearheterogeneous materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 75 :3378–3398, 2008.

[2] Willis, J. R., 1977. Bounds and self-consistent estimates for the overall properties of anisotropic composites. Journal of the Mechanics and Physics of Solids 25, 185–202.

[3] P. Suquet. Overall properties of non-linear composites : Secant moduli theory and its link with Ponte Castaneda's variational procedure. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 320 :563–571, 1995.

[4] N. Blal, L. Daridon, Y. Monerie, and S. Pagano. Artificial compliance inherent to the intrinsic cohesive zone models : criteria and application to planar meshes. *International Journal of Fracture*, 178 :71–83, 2012.

[5] N. Blal, L. Daridon, Y. Monerie, and S. Pagano. Micromechanics-based criteria for the selection of cohesive zone parameters. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 246 :206–214, 2013