SSNV261 – Comportement ENDO_LOCA_EXP en traction – compression uniaxiale confinée

Résumé :

Ce test a pour but de valider l'algorithme d'intégration de la loi de comportement ENDO_LOCA_EXP. Le problème étudié correspond à une sollicitation à déformation uniforme de traction puis de compresssion imposée pour laquelle on peut obtenir une solution analytique.

Le problème est mis en œuvre :
- en 3D dans la modélisation A
- en D_PLAN dans la modélisation B
- en COQUE_SOLIDE dans la modélisation C

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Il s'agit d'un point matériel, traité par SIMU_POINT_MAT en 3D ou en D_PLAN selon la modélisation ou avec un seul élément et STAT_NON_LINE pour COQUE_SOLIDE .

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau obéit à la loi de comportement élastique fragile ENDO_LOCA_EXP. Les données macroscopiques correspondent à :

$E=34\,129\,\mathrm{MPa}$	Module d'Young
$\nu=0.2$	Coefficient de Poisson
$G_f=0.142\,\mathrm{N/mm^2}$	Énergie de fissuration
$p=2$	Paramètre de forme
$f_t=3.024\,\mathrm{MPa}$	Limite en traction
$f_c=40\,\mathrm{MPa}$	Limite en compression
$L_f=200\,\mathrm{mm}$	Distance inter-fissure

Les paramètres internes du modèle sont calculés par la macro-commande DEFI_MATER_GC.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Il s'agit d'une sollicitation en un point matériel (SIMU_POINT_MAT). Toutes les composantes de déformation sont imposées ; elles sont toutes nulles à l'exception de EPXX . On commence par imposer une déformation uniaxiale de traction puis on décharge jusqu'à imposer une déformation de compression pour vérifier l'effet de la restauration de rigidité en compression.

1.4 Conditions initiales

Aucune.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Ce problème admet une solution analytique. La méthode de calcul est largement détaillée dans [Lorentz, 2020].

Pour la phase de charge, on se donne une valeur d'endommagement cible $b=0.1$. En notant E_c la rigidité confinée, σ_c la contrainte au pic en traction confinée et $B(b)$ la fonction de rigidité, on peut calculer successivement la contrainte $\sigma^{(T)}$ puis la déformation $\varepsilon^{(T)}$ atteintes pour la valeur d'endommagement cible :

$$\sigma^{(T)}=(1-b)\sigma_c \qquad \varepsilon^{(T)}=\frac{\sigma^{(T)}}{E_c B(b)}$$

La phase de compression est menée jusqu'à $\varepsilon^{(C)}=-2\varepsilon^{(T)}$. En notant S' la fonction de régularisation du saut de rigidité, on en déduit le niveau de contrainte correspondant :

$$\sigma^{(C)}=E_c[B(b)\varepsilon^{(C)}+(1-B(b))\frac{S'(\varepsilon^{(C)})}{2}]$$

Quant à l'endommagement, il ne varie pas pendant la décharge puis la compression.

2.2 Résultats de référence

Les paramètres internes du modèle correspondant au jeu de valeurs choisi sont les suivants :

$E_c=37921\,\mathrm{MPa}$
$\sigma_c=3.034\,\mathrm{MPa}$
$w_c=1.214\times10^{-4}\,\mathrm{MPa}$
$\kappa=5.842$
$m_0=0.589$
$D_1=4.081$
$r=3.95$
$\gamma=8532.3$

On s'assurera qu'à déformations imposées, le modèle retrouve bien les niveaux d'endommagement et de contraintes attendus.

On teste également le calcul des variables internes de post-traitement, à savoir la valeur $1-B(b)$, l'énergie de déformation élastique $w(\varepsilon,b)$ ainsi que l'énergie consommée par l'endommagement. Dans le cas présent, cette dernière s'écrit simplement, toujours avec les notations de [Lorentz, 2020] :

$$W_{cons}=\kappa\, w_c\, \hat{a}(b)$$

2.3 Incertitudes sur la solution

Néant.

2.4 Références bibliographiques

Lorentz E. (2020) . CIWAP 3 – Fissuration du béton : proposition d'un modèle de comportement local isotrope représentatif de l'endommagement en traction et cisaillement pour simuler des zones fissurées homogènes. Note interne EDF R&D 6125-1724-2020-01604.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation 3D à l'échelle d'un point matériel (SIMU_POINT_MAT).

3.2 Caractéristiques du maillage

Néant.

3.3 Grandeurs testées et résultats de la modélisation A

On teste la composante de contrainte SIXX et les variables internes à l'issue de la phase de traction (trac) puis à l'issue de la phase de compression (comp).

Identification		Référence	Type	Tolérance
SIXX	(trac)	2.731	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V1 (ENDO)	(trac)	0.1	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V3 (ENDO_RIGI)	(trac)	0.161	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V4 (ENERELAS)	(trac)	1.172×10^{-4}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V5 (ENERDISS)	(trac)	2.101×10^{-5}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
SIXX	(comp)	-6.173	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V1 (ENDO)	(comp)	0.1	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V4 (ENERELAS)	(comp)	5.145×10^{-4}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V5 (ENERDISS)	(comp)	2.101×10^{-5}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation D_PLAN à l'échelle d'un point matériel (SIMU_POINT_MAT).

4.2 Caractéristiques du maillage

Néant.

4.3 Grandeurs testées et résultats de la modélisation B

On teste la composante de contrainte SIXX et les variables internes à l'issue de la phase de traction (trac) puis à l'issue de la phase de compression (comp).

Identification		Référence	Type	Tolérance
SIXX	(trac)	2.731	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V1 (ENDO)	(trac)	0.1	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V3 (ENDO_RIGI)	(trac)	0.161	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V4 (ENERELAS)	(trac)	1.172×10^{-4}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V5 (ENERDISS)	(trac)	2.101×10^{-5}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
SIXX	(comp)	-6.173	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V1 (ENDO)	(comp)	0.1	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V4 (ENERELAS)	(comp)	5.145×10^{-4}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V5 (ENERDISS)	(comp)	2.101×10^{-5}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation COQUE_SOLIDE à l'échelle d'un seul élément et STAT_NON_LINE.

5.2 Caractéristiques du maillage

Une maille HEXA8.

5.3 Grandeurs testées et résultats de la modélisation C

On teste la composante de contrainte SIXX et les variables internes à l'issue de la phase de traction (trac) puis à l'issue de la phase de compression (comp).

Identification		Référence	Type	Tolérance
SIXX	(trac)	2.731	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V1 (ENDO)	(trac)	0.1	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V3 (ENDO_RIGI)	(trac)	0.161	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V4 (ENERELAS)	(trac)	1.172×10^{-4}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V5 (ENERDISS)	(trac)	2.101×10^{-5}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
SIXX	(comp)	-6.173	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V1 (ENDO)	(comp)	0.1	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V4 (ENERELAS)	(comp)	5.145×10^{-4}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}
V5 (ENERDISS)	(comp)	2.101×10^{-5}	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-6}

6 Synthèse des résultats

On note un très bon accord entre la modélisation et la solution de référence, aussi bien pendant la phase d'endommagement en traction que lors de la restauration de rigidité en compression.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)