SSLV01 – Traction / compression d'une interface oblique à comportement CZM_ELAS_MIX

Résumé :

Ce test a pour but de valider l'algorithme d'intégration de la loi de comportement CZM_ELAS_MIX. Le problème étudié correspond à la sollicitation uniaxiale en traction puis compression d'une interface, positionnée de manière oblique par rapport à la direction de sollicitation. On dispose d'une solution analytique pour ce problème.

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

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 cube (ou d'un carré en 2D) élastique, de 1 000 mm de côté et traversé d'une interface oblique à 45°. La géométrie est reportée en figure 1.1-a, avec l'interface en jaune et le repère associé en bas à gauche. Le cube est positionné de sorte que $0 \leq x \leq 1000$, $0 \leq y \leq 1000$ et $0 \leq z \leq 1000$.

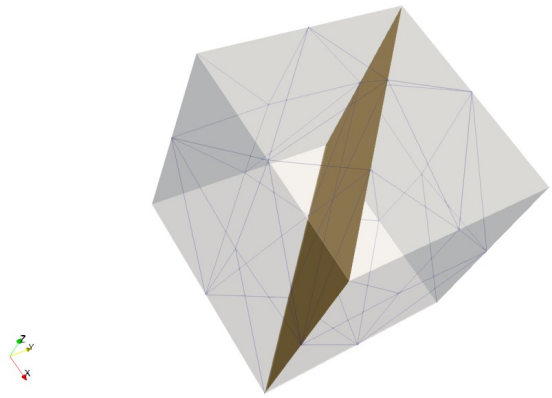


Figure 1.1-a : géométrie de la structure étudiée

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau du volume obéit à une loi élastique et l'interface à la loi CZM_ELAS_MIX. Les caractéristiques sont reportées ci-dessous :

$E = 30\,000\,\text{MPa}$	Module d'Young
$\nu = 0.2$	Coefficient de Poisson
$k_n = 20\,\text{MPa/mm}$	Raideur de l'interface dans la direction normale
$k_t = 40\ \text{MPa/mm}$	Raideur de l'interface dans la direction tangente

Par ailleurs, le coefficient d'augmentation du Lagrangien (PENA_LAGR_ABSO), sans incidence ici car la solution est homogène, est fixé à $r = 600\ \text{MPa/mm}$.

Enfin, on examine les six combinaisons d'adhérence possibles : adhérence normale élastique, unilatérale ou parfaite et adhérence tangentielle élastique ou parfaite.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Le cube est soumis à une contrainte $\boldsymbol{\sigma} = \sigma_0\ \boldsymbol{e}_x \otimes \boldsymbol{e}_x$. Plus précisément :

- La face $x = 0$ est bloquée en $u_x = 0$
- La face $y = 0$ est bloquée en $u_y = 0$
- La face $z = 0$ est bloquée en $u_z = 0$
- La face $x = 1000\ \text{mm}$ est soumise à une force surfacique $\boldsymbol{T} = \sigma_0 \boldsymbol{e}_x$

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

Ces conditions permettent également de bloquer les mouvements de corps rigide. L'intensité de la contrainte σ_0 prend successivement les valeurs +2 MPa et -2 MPa.

1.4 Conditions initiales

Comme il s'agit d'un problème élastique, il n'y a pas besoin de conditions initiales.

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 qu'on expose dans cette partie.

Le chargement est tel que la solution est homogène. La contrainte qui s'installe dans le cube vaut $\boldsymbol{\sigma}=\sigma_0\ \boldsymbol{e}_x\otimes\boldsymbol{e}_x$. Et le vecteur contrainte sur l'interface a pour composantes normale et tangentielle $\sigma_n=\sigma_0/2$ et $\sigma_t=-\sigma_0/2$, où le repère local $(\boldsymbol{n},\boldsymbol{t},\boldsymbol{e}_z)$ est direct.

Il en résulte une déformation dans le volume égale à :
$$\boldsymbol{\varepsilon}=\frac{\sigma_0}{E}\left(\boldsymbol{e}_x\otimes\boldsymbol{e}_x-\nu\,\boldsymbol{e}_y\otimes\boldsymbol{e}_y-\nu\,\boldsymbol{e}_z\otimes\boldsymbol{e}_z\right)$$

En notant $\boldsymbol{\delta}$ le saut de déplacement à travers l'interface, on en déduit que le déplacement en un point $\boldsymbol{x}$ du cube vaut :
$$\boldsymbol{u}(\boldsymbol{x})=\boldsymbol{\varepsilon}\cdot\boldsymbol{x}+\boldsymbol{\delta}\,H(\boldsymbol{x})$$
où H est la fonction de Heaviside qui vaut 0 à gauche de l'interface et 1 à sa droite.

Enfin, le saut de déplacement à travers l'interface dépend du choix des conditions d'adhérence. On donne dans le tableau ci-dessous les valeurs de ses composantes normale et tangentielle selon la combinaison de conditions d'adhérence retenue. La composante verticale δ_z est nulle dans tous les cas.

	Adhérence normale élastique	Adhérence normale unilatérale	Adhérence normale parfaite
Adhérence tangentielle élastique	$\delta_n=\sigma_n/k_n$ $\delta_t=\sigma_t/k_t$	$\delta_n=\langle\sigma_n\rangle/k_n$ $\delta_t=\sigma_t/k_t$	$\delta_n=0$ $\delta_t=\sigma_t/k_t$
Adhérence tangentielle parfaite	$\delta_n=\sigma_n/k_n$ $\delta_t=0$	$\delta_n=\langle\sigma_n\rangle/k_n$ $\delta_t=0$	$\delta_n=0$ $\delta_t=0$

2.2 Résultats de référence

Le déplacement est évalué au point $x=y=z=1000$ en 3D et $x=y=1000$ en 2D, selon la solution analytique ci-dessus.

On s'assurera q ue le calcul retrouve le déplacement attendu pour toutes les combinaisons de conditions d'adhérence et pour les deux valeurs (traction et compression) de la contrainte.

2.3 Incertitudes sur la solution

Néant.

2.4 Références bibliographiques

Lorentz E. (20 21) . ADELAHYD II - Recommandations relatives à la simulation numérique de zones cohésives par éléments finis d'interface. Note interne EDF R&D 6125-1724-202 1 -01 4 04.

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 pour le volume et 3D_INTERFACE_S pour l'interface .

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage du volume est composé de 80 mailles TETRA10, celui de l'interface est composé de 10 mailles PENTA15.

3.3 Grandeurs testées et résultats de la modélisation A

On teste les trois composantes DX, DY et DZ du déplacement au sommet du cube de coordonnées $x=y=z=1000$ pour les deux valeurs +2 MPa et -2 MPa de la force appliquée σ_0 et pour chacune des six combinaisons de conditions d'adhérence (soit $3\times2\times6=36$ valeurs testées). La précision retenue est celle par défaut.

L'ensemble des résultats est conforme aux attendus.

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 C_ PLAN pour le volume et P LAN _INTERFACE_S pour l'interface .

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage du « volume » est composé de 1 0 mailles T RIA6 , celui de l'interface est composé de 3 mailles Q UAD8 .

4.3 Grandeurs testées et résultats de la modélisation A

On teste les d eux composantes DX et DY du déplacement au sommet du c arré de coordonnées $x=y=1000$ pour les deux valeurs +2 MPa et -2 MPa de la force appliquée σ_0 et pour chacune des six combinaisons de conditions d'adhérence (soit $2\times2\times6=24$ valeurs testées). La précision retenue est celle par défaut.

L'ensemble des résultats est conforme aux attendus.

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

5 Synthèse des résultats

On note un excellent accord entre la modélisation et la solution de référence .

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