SSLP315 - Propagation de fissure débouchante dans une plaque trouée 2D de largeur finie avec XFEM

Résumé :

Le but de ce test est de vérifier que les quatre méthodes de propagation disponibles dans l'opérateur PROPA_FISS (maillage, simplexe, upwind, géométrique) donnent le même résultat pour une propagation 2D en mode mixte.

Une fissure débouchante est propagée dans une plaque rectangulaire comportant trois trous et soumise à une flexion trois points. Après quatre propagations, la position du fond de la fissure obtenue par chaque méthode est comparée avec la position de référence donnée par la méthode maillage.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

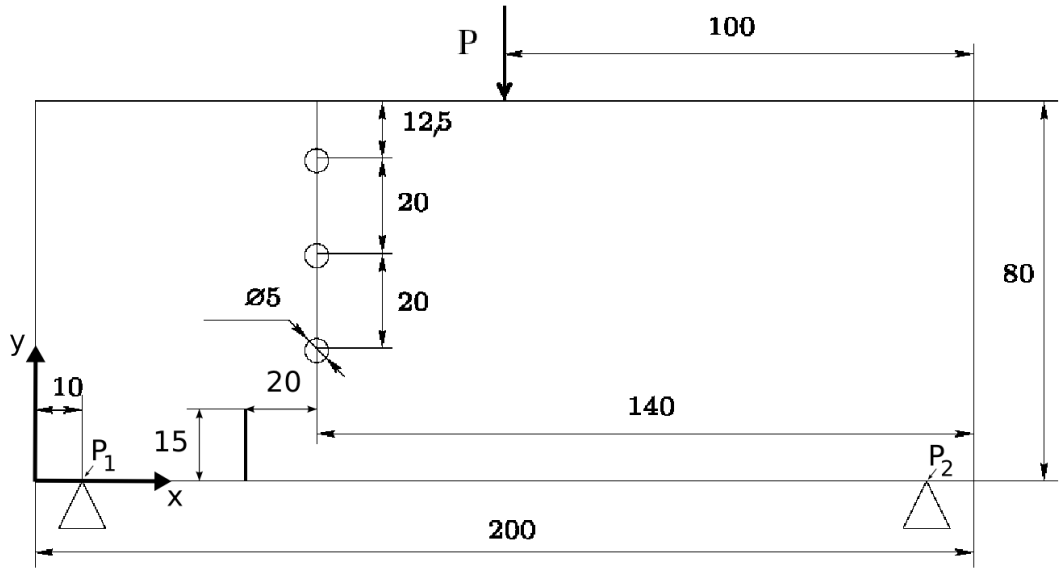

Figure 1.1-a: géométrie de la plaque fissurée

Toutes les dimensions sont exprimées en millimètres.

1.2 Propriétés du matériau

Module de Young $E = 200\,000\,MPa$
Coefficient de Poisson $\nu = 0.3$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites:

Point P_1 : $\Delta X = \Delta Y = 0$
Point P_2 : $\Delta Y = 0$

Chargement:

Force: $P = 1000\,N$

Le rapport de charge est fixé égal à zéro. La valeur de la force P donnée ci-dessus est donc la valeur maximale du cycle de fatigue.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

On utilise la méthode maillage de PROPA_FISS (modélisation A) pour calculer la position de la fissure après quatre propagations.
À chaque appel de PROPA_FISS l'avancée de la fissure est imposée égale à $2\,mm$.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Après quatre propagations, la position du fond de la fissure calculée par la méthode maillage est la suivante:

Propagation	Coordonnée x	Coordonnée y
4	42.13970	20.60376

Tableau 2.1 - Solution de référence

Cette position est utilisée comme position de référence.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode MAILLAGE est utilisée par PROPA_FISS pour calculer la nouvelle position du fond de la fissure. Les facteurs d'intensité des contraintes sont calculés en utilisant l'opérateur CALC_G.

3.2 Caractéristiques du maillage

La structure est modélisée par un maillage composé de 4464 éléments TRIA3 (voir Figure 3.2-a).

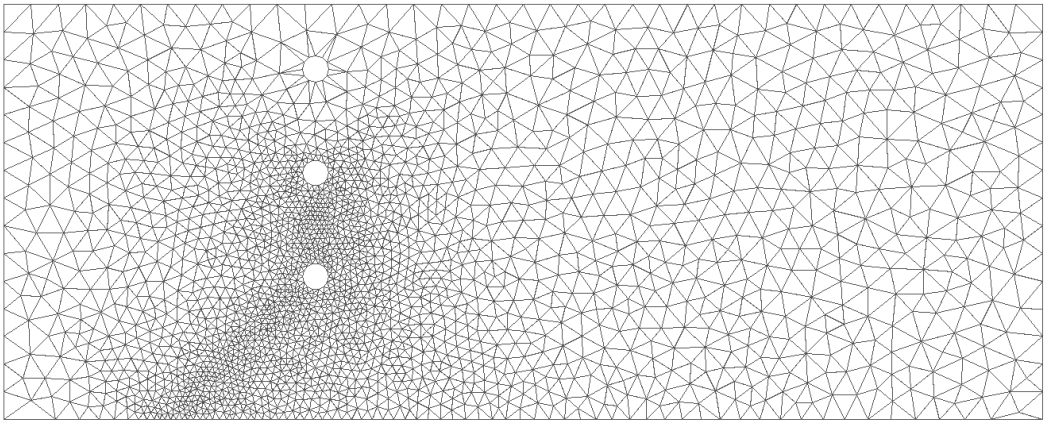

Figure 3.2-a: maillage de la structure

Le maillage est plus raffiné dans la zone de propagation. Dans cette zone la dimension de la plus petite arête des éléments est égale à $1.5\,mm$.

3.3 Grandeurs testées et résultats

La position du fond de la fissure, après quatre propagations calculées par la méthode maillage, est prise comme valeur de référence:

Propagation	Coordonnée x	Coordonnée y
4	42.13970	20.60376

Tableau 3.3-1

3.4 Remarques

La position du fond de la fissure ne peut pas être récupérée dans le fichier de commandes pour les méthodes simplexe, upwind et géométrique (modélisations D, C et E). Pour ces méthodes on vérifiera que la position du fond est dans le même élément que celui associé à cette modélisation (plus de détails sont donnés dans la description de chaque modélisation).

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode MAILLAGE est utilisée par PROPA_FISS pour calculer la nouvelle position du fond de la fissure. Les facteurs d'intensité des contraintes sont calculés en utilisant l'opérateur POST_K1_K2_K3. Le même modèle que celui décrit pour la modélisation A est utilisé.

4.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A.

4.3 Grandeurs testées et résultats

La position du fond de la fissure après quatre propagations est la suivante:

Propagation	Coordonnée x	Coordonnée y
4	42.05	20.62

On teste la non-régression de ces valeurs avec une précision relative de 0,1%.

Pour information, on peut calculer l'erreur sur les coordonnés du fond de fissure par rapport à la solution de référence (modélisation A) :

Coord	Valeur actuelle [mm]	Valeur de référence [mm]	Erreur [mm]
x	42.05	42.14	-0.09
y	20.62	20.6	0.02

Par cohérence, on utilise une tolérance égale à celle qui sera utilisée pour les modélisations C , D et E , c'est-a-dire $2.0\,mm$ (voir ces modélisations pour plus de détails).
On peut considérer ici que la position du fond calculée par cette modélisation est quasiment la même que celle de référence.

4.4 Remarques

La position du fond calculée respecte la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode maillage plus POST_K1_K2_K3 est très proche de celle de référence.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode UPWIND est utilisée par PROPA_FISS pour résoudre les équations de propagation de la fissure. Une **grille auxiliaire** est utilisée parce que le type de maille du maillage de la structure n'est pas utilisable par la méthode UPWIND.
Le même modèle que celui décrit pour la modélisation A est utilisé.

5.2 Caractéristiques du maillage

Pour la structure on utilise le même maillage que celui de la modélisation A.
La grille auxiliaire utilisée est composée de 952 éléments QUAD4 (voir figure 5.2-a).

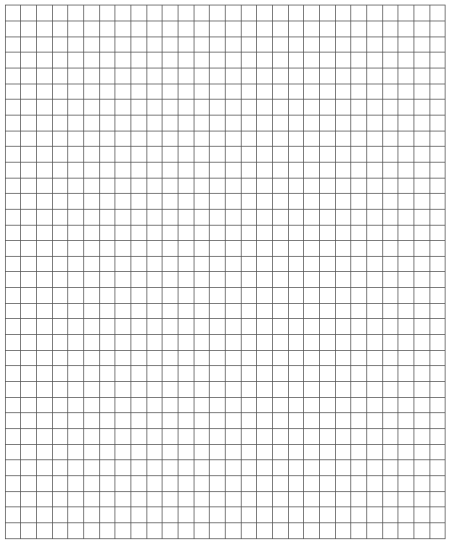

Figure 5.2-a: grille auxiliaire

La dimension de l'élément est $0.5 \times 0.5\, mm$.
La grille est étendue à la seule zone de la structure intéressée par la propagation de la fissure.

5.3 Grandeurs testées et résultats

La position du fond de la fissure ne peut pas être récupérée dans le fichier de commandes et donc on ne peut pas vérifier directement si la solution calculée par la méthode fast marching est cohérente avec la solution de référence. On peut toutefois vérifier que le fond de la fissure se trouve dans le même élément que celui qui contient le fond de la fissure de la solution de référence. En fait, la distance entre le fond de fissure et chaque nœud de cet élément est donnée par la valeur des level sets et on peut dire que le fond de fissure est contenu dans l'élément si la valeur des level sets sur ces nœuds est inférieure à la longueur de la plus grande arête de l'élément.

Les nœuds de l'élément de référence sont les suivants: $N304$, $N1040$ et $N1512$. La longueur de la plus grande arête de l'élément est $2.0\, mm$. On utilise cette valeur comme tolérance sur la valeur des level sets.

La valeur des level sets à chaque nœud peut être récupérée dans le fichier de commandes en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T:

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Nœud	LSN [*mm*]	LST [*mm*]
N304	-0,772	-1,436
N1040	1,22	-1,72
N1512	0,719	-0,242

5.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode UPWIND est très proche de celle de référence.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode SIMPLEXE est utilisée par PROPA_FISS pour résoudre les équations de propagation de la fissure.
Le même modèle que celui décrit pour la modélisation A est utilisé.

6.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A.

6.3 Grandeurs testées et résultats

La position du fond de la fissure ne peut pas être récupérée dans le fichier de commandes et donc on ne peut pas vérifier directement si la solution calculée par la méthode SIMPLEXE est cohérente avec la solution de référence. On peut toutefois vérifier que le fond de la fissure se trouve dans le même élément que celui qui contient le fond de la fissure de la solution de référence. En fait, la distance entre le fond de fissure et chaque nœud de cet élément est donnée par la valeur des level-sets et on peut dire que le fond de fissure est contenu dans l'élément si la valeur des level-sets sur ces nœuds est inférieure à la longueur de la plus grande arête de l'élément.
Les nœuds de l'élément de référence sont les suivants: $N304$, $N1040$ et $N1512$. La longueur de la plus grande arête de l'élément est $2.0\,mm$. On utilise cette valeur comme tolérance sur la valeur des level sets.
La valeur des level sets à chaque nœud peut être récupérée dans le fichier de commande en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T:

Nœud	LSN [mm]	LST [mm]
$N304$	-7.14928E-01	-1.36882E+00
$N1040$	1.24559E+00	-1.83307E+00
$N1512$	8.74599E-01	-3.14722E-01

6.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode SIMPLEXE est très proche de celle de référence.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode GEOMETRIQUE est utilisée par PROPA_FISS pour mettre à jour la position de la fissure. Une **grille auxiliaire** est utilisée pour la représentation des level-sets. Cela permet de tester l'utilisation de cette méthode dans les mêmes conditions que celles de la méthode UPWIND (modélisation C) pour une comparaison directe.
Le même modèle que celui décrit pour la modélisation A est utilisé.

7.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A. On utilise la même grille auxiliaire que celle de la modélisation C.

7.3 Grandeurs testées et résultats

La position du fond de fissure ne peut pas être récupérée dans le fichier de commandes et donc on ne peut pas vérifier directement si la solution calculée par la méthode GEOMETRIQUE est cohérente avec la solution de référence. On peut toutefois vérifier que le fond de fissure se trouve dans le même élément que celui qui contient le fond de fissure de la solution de référence. En fait, la distance entre le fond de fissure et chaque nœud de cet élément est donnée par la valeur des level sets et on peut dire que le fond de fissure est contenu dans l'élément si la valeur des level sets sur ces nœuds est inférieure à la longueur de la plus grande arête de l'élément.

Les nœuds de l'élément de référence sont les suivants: $N304$, $N1040$ et $N1512$. La longueur de la plus grande arête de l'élément est de $2.0\,mm$. On utilise cette valeur comme tolérance sur la valeur des level sets.

La valeur des level sets à chaque nœud peut être récupérée dans le fichier de commande en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T:

Nœud	LSN [mm]	LST [mm]
$N304$	-0.757	-1.356
$N1040$	1.213	-1.844
$N1512$	0.847	-0.321

7.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode GEOMETRIQUE avec la grille auxiliaire est très proche de celle de la référence.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

8 Synthèse des résultats

Toutes les méthodes utilisées (MAILLAGE CALC_G, MAILLAGE POST_K1_K2_K3, UPWIND, SIMPLEXE, GEOMETRIQUE) ont permis de calculer la position d'une fissure propageant en mode mixte. Les résultats obtenus sont comparables entre eux.

Cela permet de valider l'implémentation des méthodes dans l'opérateur PROPA_FISS.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)