SSNV144 - Coude en flexion en grands déplacements

Résumé :

Ce test valide la modélisation des phénomènes de flexion de coque en grands déplacements dans le domaine élastique ou élastoplastique : un coude de tuyauterie, prolongé par des tuyaux droits est soumis à une flexion dans son plan. La tuyauterie est épaisse (de dimensions semblables aux coudes des circuits primaires). La solution de référence est numérique : elle est obtenue avec *Code_Aster* à l'aide d'un maillage 3D du coude.

La modélisation est effectuée avec des éléments COQUE_3D en grands déplacements ou en élastoplasticité.

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

1 Problème de référence

Le coude a pour rayon de courbure : $R_c = 1.25\text{m}$

La section tubulaire a pour rayon moyen $R = 395.5\text{mm}$ et pour épaisseur $e = 77\text{mm}$.

1.1 Propriétés des matériaux

Le matériau est élastoplastique avec écrouissage linéaire isotrope.
$E = 2.\text{E11}\, Pa$
$\nu = 0.3$
Limite d'élasticité $SIGY = 200.10^6\, Pa$
Module d'écrouissage $D - SIGM - EPSI = 2.10^{10}\, Pa$

1.2 Conditions aux limites et chargements

Encastrement en A (correspondant à la section de tuyauterie nommée $CERCLE1$).

Moment MZ imposé en D (correspondant à $CERCLE2$) croissant jusqu'à :

Incrément 1 $Mz = 308670215.2\, Nm$

Dans le cas du calcul en grands déplacement, Mz est atteint en 10 incréments égaux

1.3 Conditions initiales

Sans objet.

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

En élasticité linéaire, cf [V6.02.117] on effectue une comparaison à d'autres résultats numériques obtenus avec *Code_Aster* sur un maillage $3D$ du coude et des parties droites, reliées aux extrémités à des poutres droites. Ce maillage $3D$ comporte 1024 mailles HEXA20. Une modélisation COQUE_3D donne des résultats proches.

2.2 Résultats de référence

Pour un moment appliqué Mz en D, le déplacement DY du même point D vaut :

Moment	DY point D (m) (3D)	DY point D (m) (COQUE_3D)
3.08670D+08	1.09349D–02	1.08875D–02

2.3 Incertitude sur la solution

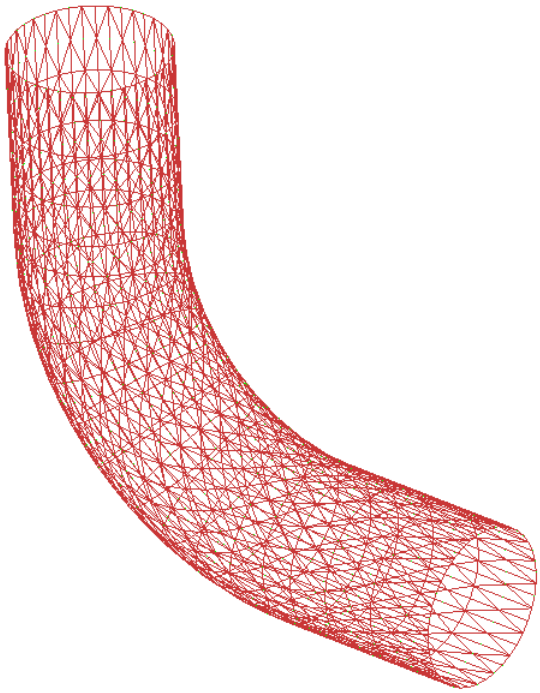
Du fait que la solution de référence est numérique, on peut évaluer la précision d'après [§2.2] à 2% par comparaison des solutions $3D$ et COQUE_3D.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

COQUE_3D



3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1480
Nombre de mailles et type : 360 QUAD9

3.3 Grandeurs testées et résultats de la modélisation A

Pour comparer les résultats du calcul élastique linéaire (MECA_STATIQUE) avec la solution de référence, on compare les déplacements de 4 nœuds de la section du tube correspondant au point D ($CERCLE2$).

Incrément de charge	DY **du point** D
$Mz = 3.08670\mathrm{D}+06\mathrm{Nm}$	DY (m)

Calcul linéaire :

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

Emplacement	Valeur à tester	Type de test	Tolérance
N1157 – DX	6.51271E-04	NON_REGRESSION	6.49E-06 %
N1104 – DX	1.28830E-04	NON_REGRESSION	1.88E-04 %
N1109 – DX	4.01834E-04	NON_REGRESSION	1.61E-05 %
N1099 – DX	4.01834E-04	NON_REGRESSION	1.61E-05 %
N1157 – DY	1.08154E-03	NON_REGRESSION	9.44E-05 %
N1104 – DY	1.09424E-03	NON_REGRESSION	3.15E-04 %
N1109 – DY	1.08427E-03	NON_REGRESSION	2.92E-04 %
N1099 – DY	1.08427E-03	NON_REGRESSION	2.92E-04 %
N1157 – DZ	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1.00E-08 %
N1104 – DZ	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1.00E-08 %
N1109 – DZ	6.34660E-06	NON_REGRESSION	8.70E-06 %
N1099 – DZ	-6.34660E-06	NON_REGRESSION	8.69E-06 %
N1157 – DRX	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1.00E-08 %
N1104 – DRX	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1.00E-08 %
N1109 – DRX	-8.06992E-06	NON_REGRESSION	7.78E-06 %
N1099 – DRX	8.06992E-06	NON_REGRESSION	7.78E-06 %
N1157 – DRY	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1.00E-08 %
N1104 – DRY	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1.00E-08 %
N1109 – DRY	-4.85229E-05	NON_REGRESSION	5.35E-05 %
N1099 – DRY	4.85229E-05	NON_REGRESSION	5.35E-05 %
N1157 – DRZ	5.84655E-04	NON_REGRESSION	6.51E-05 %
N1104 – DRZ	6.81747E-04	NON_REGRESSION	5.81E-05 %
N1109 – DRZ	-9.39844E-05	NON_REGRESSION	6.63E-06 %
N1099 – DRZ	-9.39844E-05	NON_REGRESSION	6.63E-06 %

Calcul élastoplastique (non régression)

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

Emplacement	Valeur à tester	Type de test	Tolérance
N1157 – DX	6.51271E-04	NON_REGRESSION	0.160 %
N1104 – DX	1.28830E-04	NON_REGRESSION	0.028 %
N1109 – DX	4.01834E-04	NON_REGRESSION	0.149 %
N1099 – DX	4.01834E-04	NON_REGRESSION	0.149 %
N1157 – DY	1.08154E-03	NON_REGRESSION	0.209 %
N1104 – DY	1.09424E-03	NON_REGRESSION	0.206 %
N1109 – DY	1.08427E-03	NON_REGRESSION	0.208 %
N1099 – DY	1.08427E-03	NON_REGRESSION	0.208 %
N1157 – DZ	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1104 – DZ	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1109 – DZ	6.34660E-06	NON_REGRESSION	0.022 %
N1099 – DZ	-6.34660E-06	NON_REGRESSION	0.022 %
N1157 – DRX	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1104 – DRX	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1109 – DRX	-8.06992E-06	NON_REGRESSION	0.382 %
N1099 – DRX	8.06992E-06	NON_REGRESSION	0.382 %
N1157 – DRY	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1104 – DRY	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1109 – DRY	-4.85229E-05	NON_REGRESSION	0.533 %
N1099 – DRY	4.85229E-05	NON_REGRESSION	0.533 %
N1157 – DRZ	5.84655E-04	NON_REGRESSION	0.173 %
N1104 – DRZ	6.81747E-04	NON_REGRESSION	0.224 %
N1109 – DRZ	-9.39844E-05	NON_REGRESSION	0.533 %
N1099 – DRZ	-9.39844E-05	NON_REGRESSION	0.533 %

On teste aussi en non-régression le nombre total d'itérations de Newton:

Paramètre	Valeur à tester	Type de test	Tolérance
EVOL_NOLI – ITER_GLOB	1	NON_REGRESSION	0

Calcul grands déplacements (non régression) :

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

Emplacement	NUME_ORDRE	Valeur à tester	Type de test	Tolérance
N1157 – DX	10	6.51271E-04	NON_REGRESSION	0.16 1 %
N1104 – DX	10	1.28830E-04	NON_REGRESSION	0.274 %
N1109 – DX	10	4.01834E-04	NON_REGRESSION	0.169 %
N1099 – DX	10	4.01834E-04	NON_REGRESSION	0.169 %
N1157 – DY	10	1.08154E-03	NON_REGRESSION	0. 164 %
N1104 – DY	10	1.09424E-03	NON_REGRESSION	0.115 %
N1109 – DY	10	1.08427E-03	NON_REGRESSION	0.139 %
N1099 – DY	10	1.08427E-03	NON_REGRESSION	0.139 %
N1157 – DZ	10	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1104 – DZ	10	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1109 – DZ	10	6.34660E-06	NON_REGRESSION	4.398 %
N1099 – DZ	10	-6.34660E-06	NON_REGRESSION	4.398 %
N1157 – DRX	10	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1104 – DRX	10	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1109 – DRX	10	-8.06992E-06	NON_REGRESSION	0.423 %
N1099 – DRX	10	8.06992E-06	NON_REGRESSION	0.423 %
N1157 – DRY	10	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1104 – DRY	10	0.00000E+00	NON_REGRESSION	1. 00000 E- 08 %
N1109 – DRY	10	-4.85229E-05	NON_REGRESSION	0.565 %
N1099 – DRY	10	4.85229E-05	NON_REGRESSION	0.565 %
N1157 – DRZ	10	5.84655E-04	NON_REGRESSION	0. 265 %
N1104 – DRZ	10	6.81747E-04	NON_REGRESSION	0.021 %
N1109 – DRZ	10	-9.39844E-05	NON_REGRESSION	1.456 %
N1099 – DRZ	10	-9.39844E-05	NON_REGRESSION	1.456 %

On teste aussi en non-régression le nombre total d'itérations de Newton:

Paramètre	Valeur à tester	Type de test	Tolérance
EVOL_NOLI – ITER_GLOB	2	NON_REGRESSION	0

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

4 Synthèse des résultats

Ce test permet de valider les éléments COQUE_3D en linéaire et non linéaire géométrique pour une géométrie réelle possédant deux courbures. Les résultats sont proches (différence inférieure à 1%) de la référence numérique en élasticité.

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