SZLZ105 - Comptage de cycles par RAINFLOW et calcul du dommage

Résumé :

Problème quasi-statique élastique linéaire transitoire en mécanique des structures.

Calcul du dommage final dans un élément soumis à un chargement cyclique, avec un comportement élastique linéaire.

Une modélisation en contraintes planes et une modélisation en 3D.

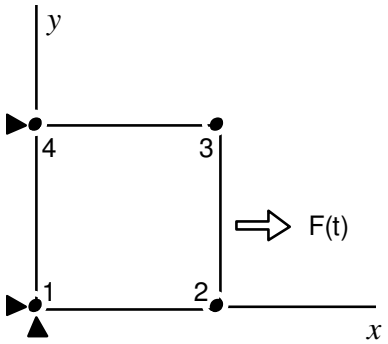
Ce test valide la méthode de comptage des cycles (RAINFLOW) implantée dans l'opérateur CALC_FATIGUE ainsi que la méthode de calcul du dommage en contrainte imposée (courbe de Wöhler) ou déformation imposée (courbe de Manson-Coffin). La solution de référence est une solution analytique.

Il valide également le calcul des contraintes et déformations équivalentes à l'aide des options SIEQ_ELGA, SIEQ_ELNO, EPEQ_ELGA, EPEQ_ELNO, EPMQ_ELGA et EPMQ_ELNO.

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

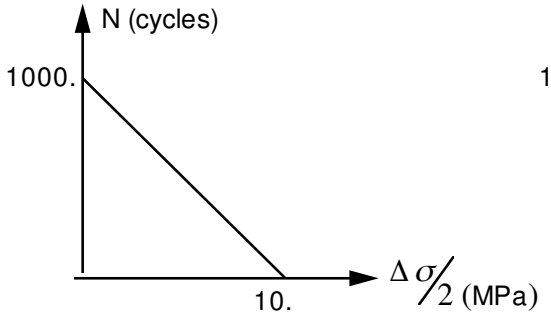
1 Problème de référence

1.1 Géométrie

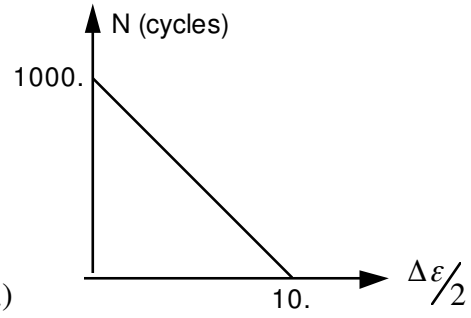


1.2 Propriétés de matériaux

Élasticité linéaire : $E=1.MPa \quad \nu=0.3$



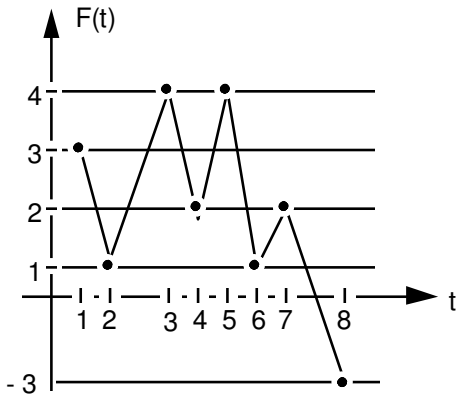
Courbe de Wöhler



Courbe de Manson-Coffin

1.3 Conditions aux limites et chargements

- Bloquée sur face $1-4$ suivant X - nœud 1 bloqué suivant Y.
- En traction simple unitaire sur la face $2-3$.
- Chargement $F(t)$ en dents de scie (d'après l'Article de Downing et Socie 1982) [bib1].



1.4 Conditions initiales

Contraintes et déformations nulles.

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

Solution analytique

- calcul des contraintes et déformations. Pour un chargement en traction simple, on obtient un état de contrainte uniaxial homogène en tout point :

$$\sigma=\begin{bmatrix}\sigma & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix} \text{ et } \varepsilon=\begin{bmatrix}\varepsilon & 0 & 0\\ 0 & \gamma & 0\\ 0 & 0 & \gamma\end{bmatrix}$$

les grandeurs équivalentes sont donc $\begin{cases}\sigma_{VMIS}=|\sigma|=\sigma_{TRESCA}\\ \sigma_{VMIS-SG}=\sigma\end{cases}$

et $\begin{cases}\varepsilon_{INVA-2}=\frac{2}{3}|\varepsilon-\gamma|\\ \varepsilon_{INVA-2SG}=\frac{2}{3}|\varepsilon-\gamma|*sign\left[\frac{\varepsilon+2\gamma}{3}\right]\end{cases}$

- puis calcul manuel des cycles par la méthode de RAINFLOW, ainsi que des amplitudes de chargement ($\frac{\Delta\sigma}{2}$ ou $\frac{\Delta\varepsilon}{2}$).

cycles	$\Delta\sigma/2$	$\Delta\varepsilon_{INVA-2}/2$
1	1.	0.8667
2	0.5	0.433315
3	1.	0.8667
4	3.5	3.03335

- enfin report de ces valeurs sur les courbes de Wöhler ou de Manson-Coffin pour estimer le dommage unitaire à chaque cycle i, soit $Du_i=\frac{1}{N_i}$ (N_i étant le nombre de cycles à rupture pour une amplitude donnée), ainsi que le dommage cumulé $D=\sum_i Du_i$ (règle de cumul linéaire de MINER).

Remarque :

On utilisera comme contrainte équivalente $\sigma_{VMIS-SG}$ *et comme déformation équivalente* $\varepsilon_{INVA-2SG}=\frac{2}{3}|\varepsilon-\gamma|\times sign\left[\frac{\varepsilon+2\gamma}{3}\right]$.

2.2 Résultats de référence

- Étant donné les valeurs des paramètres de chargement utilisé, on obtient simplement en fin de chargement (incrément 8) $\sigma=-3.\quad \varepsilon=-3.\quad \gamma=0.9\quad \varepsilon_{INVA-2}=2.6$.
- Pour le calcul du dommage, on obtient :

$$D_{Wöhler}=4{,}8133.10^{-3}=\sum_{i=1}^{4} Du_i$$

$$D_{Manson}=4{,}67.10^{-3}=\sum_{i=1}^{4} Du_i$$

2.3 Références bibliographiques

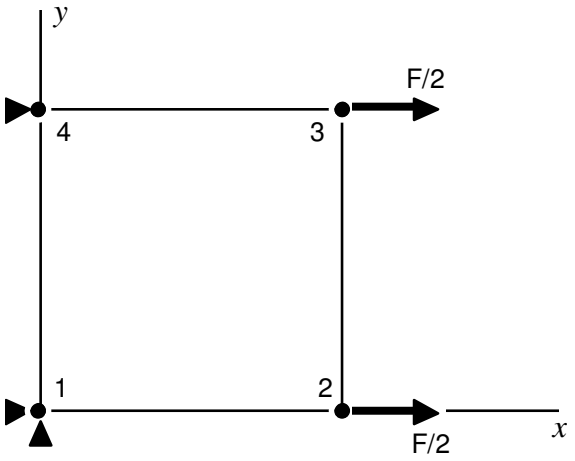
1. DOWNING et SOCIE, 1982. "Simple Rainflow counting algorithms". Int. J. Fatigue, janvier 1982 (p. 31).

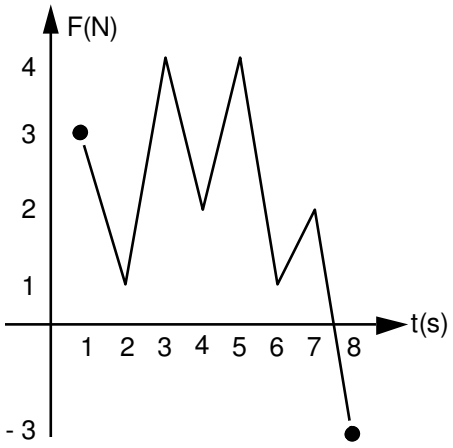
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation en contraintes planes :





3.2 Caractéristiques du maillage

1 maille QUAD4.

Carré largeur = 1
épaisseur = 1

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence
en tous nœuds en fin de chargement en contrainte ou en déformation	
Dommage Wöhler	$4.8133\ 10^{-3}$
Dommage Manson-Coffin	$4.6705\ 10^{-3}$
σ	-3.
σ_{VMIS}	3.
σ_{TRESCA}	3.
$\sigma_{VMIS-SG}$	-3.
ε	-3.
γ	0.9
ε_{INVA-2}	2.6
$\varepsilon_{INVA-2}SG$	-2.6

3.4 Remarques

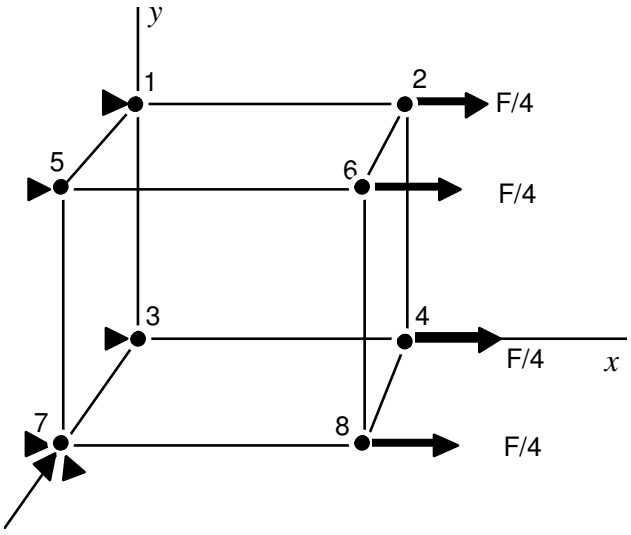
Test rapide en temps calcul.

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation en 3D :



4.2 Caractéristiques du maillage

1 maille HEXA8.
cube de largeur = 1

4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence
en tous nœuds en fin de chargement	
Dommage Wöhler	4.8133 10^{-3}
Dommage Manson-Coffin	4.6705 10^{-3}
σ	-3.
σ_{VMIS}	3.
σ_{TRESCA}	3.
$\sigma_{VMIS-SG}$	-3.
ε	-3.
γ	0.9
ε_{INVA-2}	2.6
$\varepsilon_{INVA-2}SG$	-2.6
$(\varepsilon-\varepsilon^{th})_{INVA-2}$	2.6
$(\varepsilon-\varepsilon^{th})_{INVA-2}SG$	-2.6

4.4 Remarques

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

Mêmes résultats et référence qu'en contraintes planes.

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

5 Synthèse des résultats

Ce test valide la méthode et le calcul du dommage de Wöhler et de Manson-Coffin.

Les résultats de *Code_Aster* sont identiques à ceux obtenus analytiquement.

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