SDLX300 - Tuyauterie soumise à une excitation en déplacement, vitesse, accélération

Résumé :

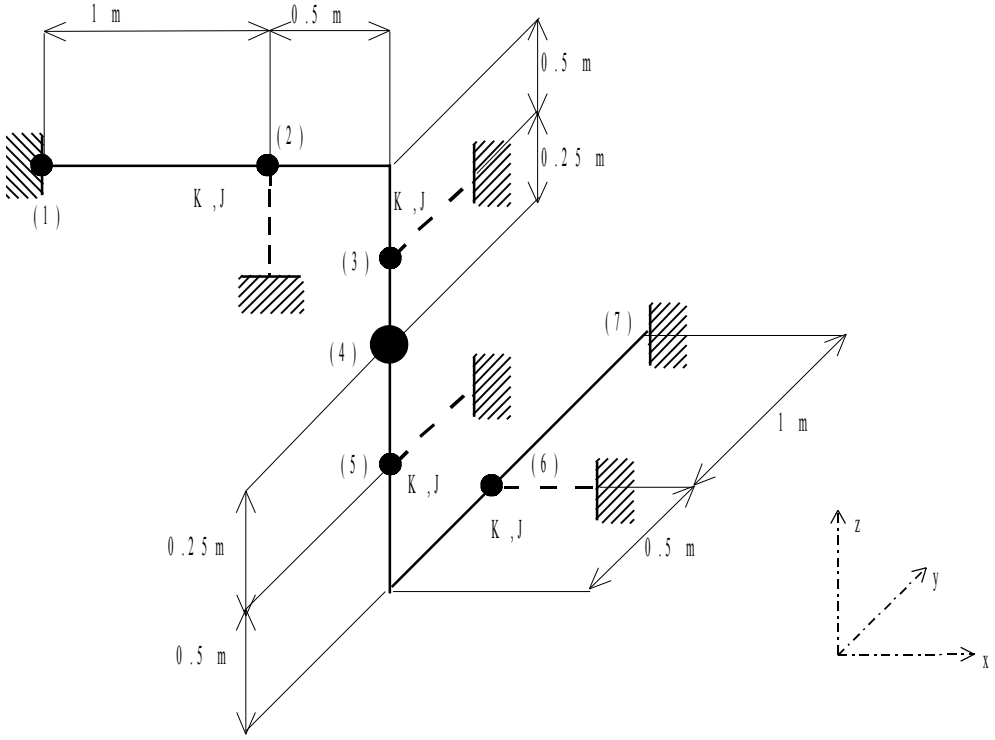
Étude tridimensionnelle d'une tuyauterie encastrée-rotulée avec raideurs et masse localisées soumise à une excitation en déplacement, vitesse et accélération.

La référence est obtenue pour 6 modes avec CASTEM 2000.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Diamètre extérieur	:	$48.\mathrm{E}-3\,m$
Epaisseur	:	$5.\mathrm{E}-3\,m$
Rayon de courbure des coudes	:	$0.170\,m$

1.2 Propriétés des matériaux

Masse volumique	:	$7960.\,kg.m^{-3}$
Module d'Young	:	$1.9\,E+11\,N.m^{-2}$
Coefficient de Poisson	:	0.3
Masse concentrée au nœud 4	:	$10.\,kg$

1.3 Conditions aux limites et chargements

1.3.1 Conditions aux limites

Au nœud 1 : $dx=dy=dz=0$ (rotule)
Au nœud 7 : $dx=dy=dz=drx=dry=drz=0$ (encastrement)

Au nœud 2, supportage dans la direction z
Au nœud 3, supportage dans la direction y
Au nœud 5, supportage dans la direction y
Au nœud 6, supportage dans la direction x

Les raideurs apportées par chacun des supportages sont :

$$K_x=K_y=K_z=80.\mathrm{E}+3\,N.m^{-1} \qquad K_{\theta x}=K_{\theta y}=K_{\theta z}=J=1.2\,N.m.deg^{-1}$$

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

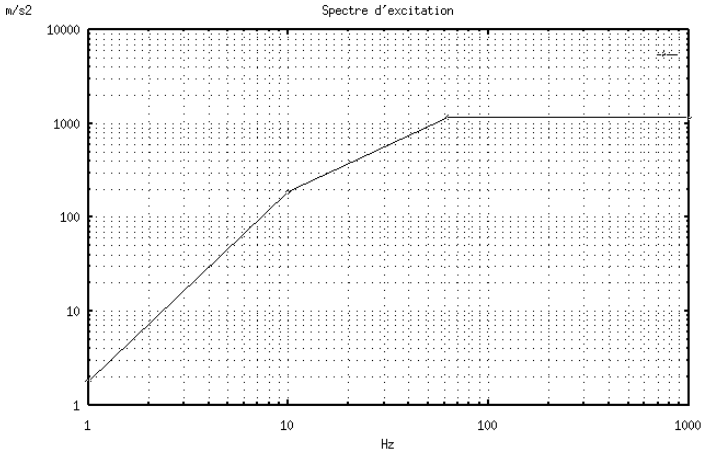
1.3.2 Chargements

Calcul des modes statiques
Un premier calcul permet de valider le calcul des modes statiques.
L'ensemble du modèle est soumis à une accélération uniforme selon x de valeur $100\times g$ avec $g=9.81\,m.s^{-2}$

Réponse spectrale
On soumet la ligne de tuyauterie à une excitation suivant x, définie par un spectre de réponse tel que :

- sa valeur en déplacement pour des fréquences comprises entre 1. et 10. Hz, soit $d=48.\mathrm{E}-3\mathrm{m}$
- sa valeur en vitesse pour des fréquences comprises entre 10. et 63. Hz, soit $v=3.\mathrm{m.s}^{-1}$
- sa valeur en accélération pour des fréquences comprises entre 63. et 1000. Hz, soit $\gamma=120*g$

Ci-dessous est représenté le spectre d'accélération, déterminé à partir de l'excitation pour un amortissement réduit $\xi=0$.



Les valeurs caractéristiques utilisées sont :
$\gamma(1\,Hz)=1.92\mathrm{m}/s^2 \quad \gamma(10\,Hz)=192\,m/s^2 \quad \gamma(63\,Hz)=1000\,m/s^2$
$\gamma(1000\,Hz)=1000\,m/s^2$

1.3.3 Flexibilité des coudes

Le coefficient de flexibilité, C_{flex}, des coudes est donné par la réglementation RCC-M :

$$C_{flex}=\frac{1.65}{h} \text{ avec } h=\frac{ep*r_{courb}}{r_m^2}$$

ep : épaisseur du coude
r_{courb} : rayon de courbure du coude
r_m : rayon moyen du coude

L'indice d'intensification des contraintes, I_{sigm}, est donné par :

$$I_{sigm}=\frac{0.9}{h^{0.666}}$$

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

Selon la réglementation RCC-M, le coefficient de flexibilité et l'indice d'intensification des contraintes sont supérieurs ou égaux à un. Ce n'est pas le cas dans ce cas-test.

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

La référence est obtenue pour 6 modes avec Castem 2000, pour la méthode de recombinaison modale CQC.

2.2 Résultats de référence

Calcul modal
Fréquences, masses effectives suivant x , y , z

Mode statique
Déplacements aux nœuds caractéristiques

Réponse spectrale
Déplacements et efforts généralisés aux nœuds caractéristiques
Réaction à l'encastrement

Les résultats sont obtenus avec 6 modes pour la recombinaison modale CQC.

2.3 Incertitude sur la solution

Comparaison entre codes

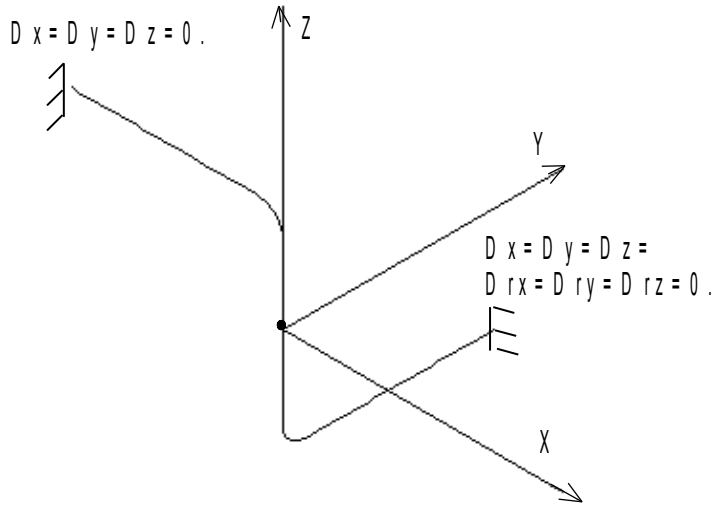
2.4 Références bibliographiques

[1] B. Kurth - P. Pasquet : Calcul d'une tuyauterie - Test Castem2000 DCN - Cherbourg. Référence CISI 93020

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation



3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est constitué de 88 éléments poutre droite de Timoshenko.

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

4 Grandeurs testées et résultats de la modélisation A

Lors du passage de la modélisation des coudes en POU_D_T, certains tests ont été supprimés car les résultats étaient trop éloignés de la référence. Le signe * signifie que le test a été supprimé.

4.1 Calcul de la base modale

Fréquences propres de la structure (Hz)

Numéro de mode	Référence
1	1.6848E+01
2	2.0762E+01
3	2.2386E+01
4	4.4822E+01
5	5.2218E+01
6	7.9692E+01

Masses effectives suivant la direction x (kg)

Numéro de mode	Référence
1	1.6134E+00
2	4.4041E–01
3	1.8187E+01
4	1.0628E–02
*5	3.8555E–02
*6	7.7799E–02

Masses effectives suivant la direction y (kg)

Numéro de mode	Référence
1	9.2479E+00
2	1.1224E+01
3	1.7076E–01
4	6.7896E–01
*5	1.1784E–03
*6	4.2460E–02

Masses effectives suivant la direction z (kg)

Numéro de mode	Référence
1	1.3324E+01
*2	1.1625E+01
3	2.8852E+00
4	4.1979E–01
5	2.5868E–01
*6	6.5858E–01

4.2 Chargement A : Calcul des modes statiques

Déplacements (m)

Direction	Nœuds	Référence
Ux	2	1.001E–04
	*3	3.169E–02
	4	4.830E–02
	5	6.162E–02
	6	4.527E–02

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

Uy	2	3.823E–03
	3	7.525E–03
	4	5.556E–03
	5	3.777E–03
	6	–4.516E–06
Uz	*2	–6.607E–03
	*3	1.032E–02
	*4	1.031E–02
	*5	1.031E–02
	6	5.632E–03

4.3 Chargement B : Réponse spectrale

Calcul avec 6 modes - recombinaison modale quadratique complète 'CQC'
Déplacements (m)

Direction	Nœuds	Référence
Ux	2	1.859E–05
	3	1.092E–02
	4	1.722E–02
	5	2.259E–02
	*6	1.695E–02
Uy	2	6.765E–03
	3	6.555E–03
	4	5.029E–03
	5	3.398E–03
	*6	2.398E–06
Uz	*2	1.004E–02
	3	7.574E–03
	4	7.575E–03
	5	7.574E–03
	6	4.238E–03

Réaction (N) et Moment ($N.m$) au nœud 7

	Référence
Fx	1.284E+03
* Fy	3.079E+02
Fz	4.070E+02
Mx	3.748E+02
* My	2.301E+02
Mz	1.431E+03

Efforts généralisés
Tableau n°1 (*)

Nœuds	Composantes	Référence
2	* $Fx(N)$	2.385E+03
	$Fy(N)$	2.275E+02
	* $Fz(N)$	5.183E+02
	$Mx(N.m)$	3.067E–01
	$My(N.m)$	7.984E+02
	$Mz(N.m)$	2.367E+02
3	$Fx(N)$	6.092E+02
	$Fy(N)$	2.555E+02
	$Fz(N)$	2.151E+03

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

	$Mx(N.m)$	3.611E+02
	$My(N.m)$	1.417E+02
	$Mz(N.m)$	1.114E+02
4	$Fx(N)$	8.733E+02
	$Fy(N)$	3.777E+02
	$Fz(N)$	2.665E+03
	$Mx(N.m)$	3.617E+02
	$My(N.m)$	6.081E+02
	$Mz(N.m)$	1.894E+02
5	$Fx(N)$	6.373E+02
	$Fy(N)$	4.489E+02
	$Fz(N)$	1.284E+03
	$Mx(N.m)$	3.615E+02
	$My(N.m)$	3.416E+02
	$Mz(N.m)$	1.766E+02
6	* $Fx(N)$	3.078E+02
	$Fy(N)$	1.922E+03
	$Fz(N)$	5.692E+02
	$Mx(N.m)$	2.306E+02
	$My(N.m)$	1.420E+02
*	$Mz(N.m)$	3.415+02

Voir remarque [§ 4.4].

Tableau n°2 (*)

Nœuds	Composantes	Référence
2	$Fx(N)$	2.387E+03
	$Fy(N)$	4.333E+02
	$Fz(N)$	1.164E+03
	$Mx(N.m)$	2.781E–01
	$My(N.m)$	7.985E+02
	$Mz(N.m)$	2.368E+02
3	$Fx(N)$	9.656E+02
	$Fy(N)$	4.511E+02
	$Fz(N)$	2.955E+03
	$Mx(N.m)$	3.618E+02
	$My(N.m)$	1.429E+02
	$Mz(N.m)$	1.113E+02
4	$Fx(N)$	5.281E+02
	* $Fy(N)$	3.928E+02
	* $Fz(N)$	8.652E+02
	$Mx(N.m)$	3.616E+02
	$My(N.m)$	6.081E+02
	$Mz(N.m)$	1.894E+02
5	$Fx(N)$	2.223E+02
	* $Fy(N)$	2.753E+02
	$Fz(N)$	4.752E+02
	$Mx(N.m)$	3.627E+02

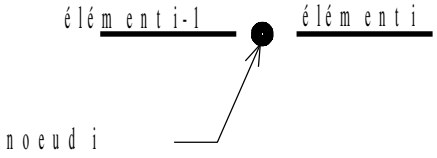
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

	$My(N.m)$	3.403E+02
	$Mz(N.m)$	1.766E+02
6	* $Fx(N)$	3.076E+02
	$Fy(N)$	6.588E+02
	$Fz(N)$	2.842E+02
	$Mx(N.m)$	2.299E+02
	$My(N.m)$	1.418E+02
	* $Mz(N.m)$	3.396E+02

* Voir remarque [§ 4.4].

4.4 Remarques

Pour un nœud i donné, l'effort généralisé pour l'élément $i-1$ et pour l'élément i est comparé respectivement dans les tableaux 1 et 2.



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

5 Synthèse des résultats

Caractéristiques modales
Les écarts sur les fréquences calculées restent inférieurs à 0.4%.
L'écart maximum sur les masses effectives significatives est de 4.4 % (direction z). Un écart de 24% est relevé dans la direction y , sur la masse effective du mode 6 qui représente 0.15% de la masse totale.

Modes statiques
Les écarts sont de l'ordre de 1% dans les directions y et z , et inférieurs à 0.5% dans la direction x .

Réponse spectrale

Déplacements
Les écarts sont de l'ordre de 1%, avec un écart de 4.6% pour le nœud 6 dans la direction y (mais le déplacement au nœud 6 est de l'ordre de 1.e-6 et n'est pas significatif par rapport aux autres valeurs calculées, de l'ordre de 1.e-3).

Réactions à l'encastrement et efforts généralisés
L'écart moyen est de l'ordre de 2%. Un écart de 12.8%, apparaît au niveau du nœud 5 pour la composante Fz de l'effort généralisé. Il existe un ordre de grandeur entre la valeur de l'effort à gauche et à droite de la masse, l'écart sur la valeur minimale de l'effort est de 12.8 %, de 2.6 % sur la valeur maximale, et de 5% sur la valeur moyenne.

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