SDLV126 – Modélisation de l'amortissement viscoélastique avec RIGI_MECA_HYST

Résumé :

L'objectif de ce test est de valider l'extension de l'option RIGI_MECA_HYST de la méthode CALC_MATR_ELEM concernant les matériaux viscoélastiques linéaires en régime harmonique. Dans ce test, on vérifie que l'option RIGI_MECA n'est pas impactée, qu'on retrouve le cas dégradé de l'amortissement hystérique et une validation croisée avec les résultats numériques de la thèse de Lucie Rouleau a été réalisée.

Les modélisations H, I et J valident l'utilisation des charges cinématiques (c-a-d issues d'AFFE_CHAR_CINE) non-homogènes avec DYNA_VIBRA pour les calculs harmoniques sur base physique.

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

1 Modélisation A-D

1.1 Objectifs

L'objectif de ces modélisations est de vérifier sur un élément le comportement des options RIGI_MECA et RIGI_MECA_HYST en testant les parties réelles et imaginaires de la matrice rigidité produite.

En élasticité isotrope, la loi de comportement s'écrit : $\sigma=2G\left(\epsilon-\frac{1}{3}Tr\left(\epsilon\right)\right)-K\,Tr\left(\epsilon\right)Id$

Si le matériaux a des modules complexes, la séparation partie réél/partie imaginaire s'écrit simplement :

$$\sigma_r=2\,\Re\left(G\right)\left(\epsilon-\frac{1}{3}Tr\left(\epsilon\right)\right)-\Re\left(K\right)Tr\left(\epsilon\right)Id\,,\ \sigma_i=2\,\Im\left(G\right)\left(\epsilon-\frac{1}{3}Tr\left(\epsilon\right)\right)-\Im\left(K\right)Tr\left(\epsilon\right)Id$$

1.2 Géométrie

S'agissant de test de construction de matrice de rigidités, la géométrie correspond à un cube pour les éléments 3D et un plan carré pour les éléments 2D.

1.3 Propriétés matériaux

Trois matériaux isotopes fictifs sont déclarés :

- élastique, matériau 1 : $G_1=15\,Pa\,,K_1=20\,Pa$
- élastique, matériau 2 : $G_2=10\,Pa\,,K_2=25\,Pa$
- viscoélastique, matériau v : $G=15+10\,j\,Pa\,,K=10+25\,j\,Pa$

Ainsi la matrice calculée sur la matériau 1 doit être la partie réelle de la matrice calculée sur le matériau v et la matrice calculé sur le matériau 2 doit être la partie imaginaire de la matrice calculé sur le matériau v.

1.4 Caractéristiques des modélisations

Modélisation	Type matériau	Élément	Maillage
A	Isotrope	3D	1 HEXA8
B	Orthotrope	3D	1 HEXA8
C	Isotrope transverse	3D	1 HEXA8
D	Isotrope	D_PLAN	1 QUAD4

Pour les modélisations de matériaux non isotropes, on utilise les matériaux 1, 2 et v en prenant $G_L=G_N=G_T\,,E_L=E_N=E_T\,,\ \nu_{LT}=\nu_{LN}=\nu_{NT}$

1.5 Grandeurs testées

Pour chaque modélisations, on construits les matrices de raideurs suivantes:

- K_i , la partie réelle de la matrice de rigidité sur le matériau i ou i=1,2 (construite avec RIGI_MECA)
- K_i* la matrice de rigidité sur le matériau i ou i=1,2 (construite avec RIGI_MECA_HYST)
- K_v , la matrice de rigidité complexe sur le matériau v (construite avec RIGI_MECA_HYST)

On vérifie alors : $K_v=K_1+jK2$ et $K_1*=K_1$

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

2 Modélisations E et F

2.1 Objectifs

L'objectif de ces modélisations est de vérifier sur un élément que la modélisation d'un matériau viscoélastique dont le coefficient de Poisson est constant/réel et le module de Young complexe est équivalente à la modélisation d'un matériau élastiques avec un coefficient d'amortissement hystérétique.
En élasticité isotrope, la loi de comportement s'écrit :

$$\sigma=\frac{E}{1+\nu}\left(\epsilon+\frac{\nu}{1-2\,\nu}Tr\left(\epsilon\right)Id\right)$$

Ainsi, si $E=E_r+jE_i$ alors

$$\sigma=\left(1+j\frac{E_i}{E_r}\right)\frac{E_r}{1+\nu}\left(\epsilon+\frac{\nu}{1-2\,\nu}Tr\left(\epsilon\right)Id\right)$$

Cela correspond à un matériau élastique isotrope de module de Young E_r de Poisson ν et d'amortissement hystérétique $\eta=\frac{E_i}{E_r}$

2.2 Géométrie

S'agissant de test de construction de matrice de rigidités, la géométrie correspond à un cube pour les éléments 3D et un plan carré pour les éléments 2D.

2.3 Propriétés matériaux

Les deux matériaux déclaré sont :

- viscoélastique, matériau 1 : $G=0{,}53\text{e}9+9{,}3\text{e}6\,j\,Pa$, $\nu=0{,}3$
- élastique, matériau 2 : $E=1{,}3\text{e}9\,Pa$, $\nu=0{,}3$, $\eta=1{,}8\text{e-}2$

2.4 Caractéristiques des modélisations

Modélisation	Élément	Maillage
E	3D	1 HEXA8
F	C_PLAN	1 QUAD4

2.5 Grandeurs testées

Pour chaque modélisations, on construits les matrices de raideurs complexes :

- K_1* du matériau 1
- K_2* du matériau 2

on vérifie alors $K_1*=K_2*$

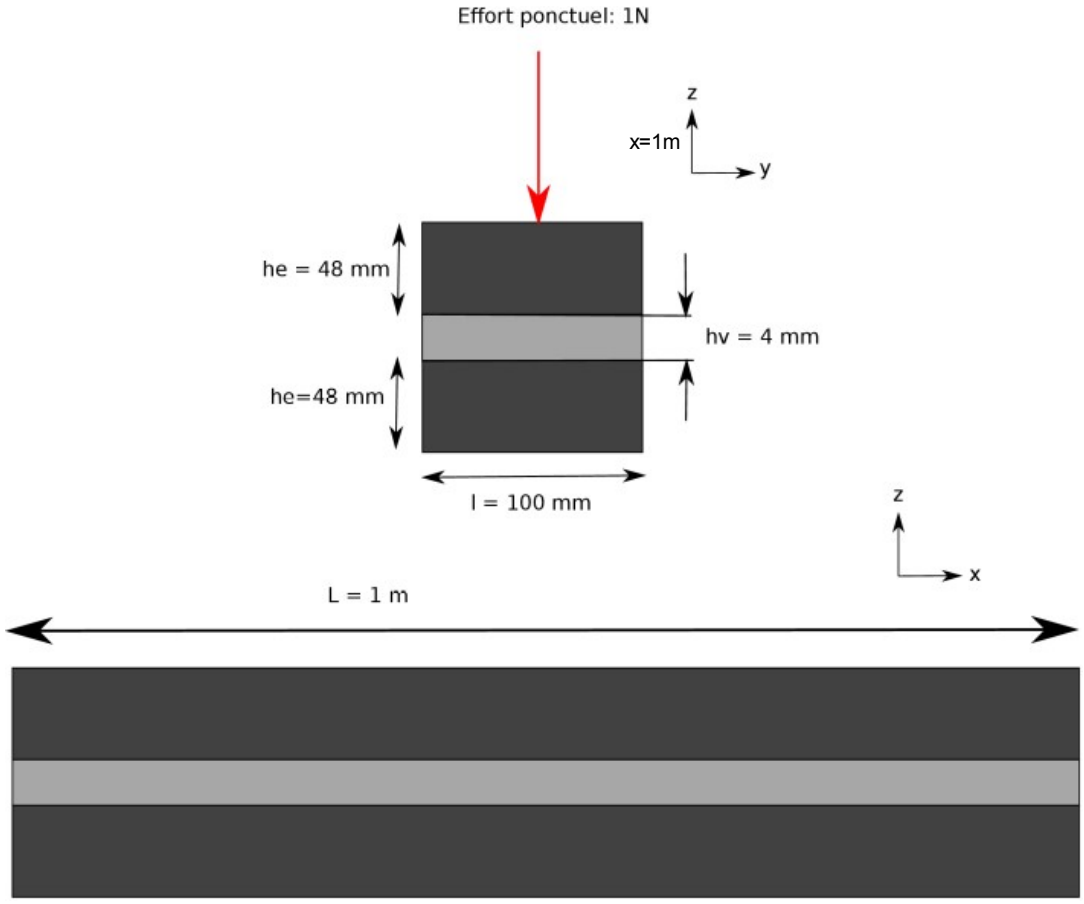
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation G

3.1 Description du problème de référence

3.1.1 Géométrie

On considère une structure élancée sandwich de section carrée composée de deux peaux et d'un cœur. Il s'agit du même cas de calcul que celui présenté par Lucie Rouleau dans le chapitre 4 de sa thèse [bib1]



3.1.2 Propriétés du matériau

Les peaux sont composées d'un matériau est élastique isotrope dont les propriétés sont :

- Module d'Young $E=2.1\,10^{11}\,Pa$
- Coefficient de Poisson $\nu=0.3$
- Masse volumique $\rho=7800\,kg/m^3$

Le cœur est composé d'un matériaux viscoélastique linéaire dont le coefficient de cisaillement est modélisé par un modèle de Zener fractionnaire, c'est à dire : $G(\omega)=\frac{G_0+G_\infty(j\,\omega)^\alpha}{1+(j\,\omega)^\alpha}$, le coefficient de compressibilité est quand à lui est pris constant. Les valeurs numériques sont :

- $G_0=1,4e6\,Pa$
- $G_\infty=0,54e9\,Pa$
- $\tau=0,52e\text{-}6\,s$

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

- $\alpha = 0{,}59$
- Masse volumique $\rho = 1460\, kg/m^3$
- Coefficient de compressibilité $K = 2{,}2e9\, Pa$

3.1.3 Conditions aux limites et chargements

Cette structure est excitée ponctuellement par un effort harmonique unitaire au point $(1\,m, 0{,}5\,m, 0{,}5\,m)$, on s'intéressera au déplacement selon z en ce même point. La structure est encastré en x=0.

3.2 Solution de référence

3.2.1 Grandeurs et résultats de référence

On compare les valeurs de module du déplacement selon z en des fréquences données calculé par les nouvelles méthodes de Code_Aster et le code de calcul de [bib1]

3.2.2 Incertitudes sur la solution

On considère qu'il y a une régression si les résultats obtenus ne sont pas identiques.

3.3 Grandeurs testées et résultats

3.3.1 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1750 éléments de type HEXA20 et 35 éléments de type QUAD8.

3.3.2 Résultats

On teste les 4 fréquences suivantes correspondants aux premières résonances et anti résonances de la structure.

Fréquence	Valeur calculée	Valeur de référence
45 Hz	-2.19729959e-06-5.31250496e-06j	-2.52885263e-06-5.26288448e-06j
179 Hz	1.15296519e-09-3.39972232e-09j	1.11783628e-09-3.30841894e-09j
255	1.04664929e-07-2.81759671e-07j	1.01911277e-07-2.96162398e-07j
696	1.57582867e-08-6.87887584e-08j	1.48442697e-08-7.13562822e-08j

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

4 Modélisation H

Cette modélisation est la même que la modélisation G. Mais elle utilise des conditions aux limites dualisées (issues d' AFFE_CHAR_MECA) et non pas cinématiques.

De plus, on impose un déplacement non-nul en Z au point de blocage pour traiter le cas de conditions aux limites non-homogènes.

Ce test sert de référence aux modélisations I et J. Il n'a pas de réellement de signification physique.

5 Modélisation I

Cette modélisation est la même que la modélisation H avec des conditions aux limites cinématiques.

Elle permet de valider l'utilisation de conditions aux limites cinématiques (issue d'AFFE_CHAR_CINE) et non-homogènes par comparaison au même calcul avec conditions aux limites dualisées et non-homogènes. Elle valide également la prise en compte du mot-clé COEF_MULT avec une charge cinématique.

Ce test n'a pas de réellement de signification physique.

6 Modélisation J

Cette modélisation est la même que la modélisation J avec l'association d'une charge cinématique dépendant de la fréquence et d'une fonction multiplicatrice dépendant inversement de la fréquence de façon à retomber sur le même chargement que les modélisation H et I.

Elle permet de valider l'utilisation de conditions aux limites cinématiques dépendant de la fréquence (issue d'AFFE_CHAR_CINE_F) et non-homogènes ainsi que la bonne prise en compte du mot-clé FONC_MULT et cela tout au long du calcul.

Ce test n'a pas de réellement de signification physique.

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

7 Synthèse des résultats

Ce cas test a permis de vérifier les méthodes de calcul de matrice de rigidité complexe sur matériau viscoélastique linéaire. Il réalise des cas test de construction de matrice et une validation croisée avec un code tiers.

8 Références bibliographiques

[bib1] ROULEAU L. : Modélisation vibro-acoustique de structures sandwich munies de matériaux visco-élastiques, thèse du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris, 2014

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