SDND125 – Traitement des comportements non-linéaires localisés avec DYNA_VIBRA

Résumé :

Dans le contexte d e la modernisation de l'architecture de la structure de données utilisée pour le calcul de réponse transitoire sur la base modale d'un modèle muni de non-linéarités localisées (opérateur DYNA_VIBRA), la mise en œuvre des données des comportements non-linéaires a été rationalisée et un nombre de facilité s a été apporté pour l'étape de post traitement .

Ainsi, au travers d'un système discret (masse-ressort), ce cas-test a pour principal objectif d'exposer la nouvelle mise en données de différents comportements non-linéaires localisés disponibles dans l'opérateur DYNA_VIBRA, via l'opérande COMPORTEMENT et le mot-clé RELATION. La relation localisée entre masses est employée pour modéliser les phénomènes ou dispositifs suivants en dynamique:

- Modélisation A : Choc frontal via RELATION = 'DIS_CHOC'
- Modélisation B : Dispositif représentant le flambage linéaire via RELATION = 'FLAMBAGE'
- Modélisation C : Dispositif anti-sismique via RELATION = 'ANTI_SISM'
- Modélisation D : Dispositif représentant un comportement viscoélastique non linéaire via RELATION = 'DIS_VISC'
- Modélisation E : Dispositif représentant un comportement non linéaire via RELATION = 'DIS_ECRO_TRAC'
- Modélisation F : Dispositif représentant une relation force-déplacement ou moment-rotation via RELATION = 'RELA_EFFO_DEPL'
- Modélisation G : Dispositif représentant une relation force-vitesse via RELATION = 'RELA_EFFO_VITE'

Il s'agit donc d'un cas-test non-régression. Seules des valeurs de calcul ont été enregistrées pour vérifier la cohérence entre différentes versions de code_aster.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le système est composé d'un ensemble de 2 ressorts, 3 masses ponctuelles, supporté par 2 appuis :

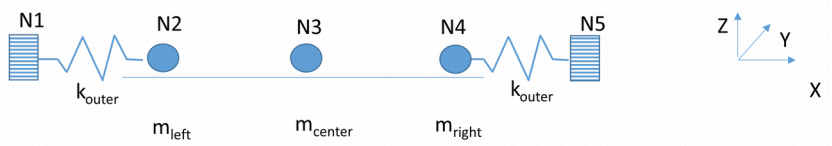


Figure 1.1-1

Le système est constitué des élements suivants :

- une masse centrale m_{center} de 10.0 kg en point N3;
- deux masses m_{left} et m_{right} respectivement de 4.5 et 3.7 kg, fixées au travers deux ressorts élastiques chacun d'une rigidité k_{outer} de 10^3 N/m.
- Le système est unidirectionnel, les masses ne "glissent" que dans la direction X.

Les coordonnées des points présentés sur la figure ci-dessus sont :

Nœud	X(m)	Y(m)	Z(m)
N1	0.0	0.0	0.0
N2	0.1	0.0	0.0
N3	0.2	0.0	0.0
N4	0.3	0.0	0.0
N5	0.4	0.0	0.0

Tableau 1.1-1

Les masses sont liées entre elles par différentes phénomènes et dispositifs caractérisés par des relations de comportement non linéaires.

1.2 Conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites :

Tous les nœuds en lesquels les masses sont portées sont libres seulement dans la direction X: $dy = dz = drx = dry = drz = 0$
Les nœuds $N1$ et $N2$ sont encastrés : $dx = dy = dz = drx = dry = drz = 0$.

Chargement :

La masse centrale est soumise à une force sinusoïdale temporelle (mono-fréquentielle) sous la forme : $A\sin(2\pi f t)$. L'amplitude A et la fréquence f diffèrent selon la modélisation et ce afin de garantir que le niveau de chargement est suffisant pour activer la relation non-linéaire entre des masses. Les chargements pour les différentes modélisation sont donnés dans le tableau suivant :

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

Modélisation	A (N)	f (Hz)
A	60.0	2.0
B	500.0	2.0
C	500.0	2.0
D	500.0	2.0
E	500.0	2.0
F	10.0	4.0
G	10.0	4.0

Tableau 1.2-1

La durée totale du chargement est de 1.0 sec. L'intégration est effectué avec un pas fixe de 1.0E-6 sec.

1.3 Conditions initiales

Le système est au repos.

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

2 Modélisation

2.1 Caractéristiques du maillage

Le maillage est constitué de 5 nœuds, 4 mailles SEG2 et 3 maille POI1.

2.2 Caractéristiques de la modélisation

Concernant le maillage, les ressorts liant m_{left} et m_{right} au support sont modélisés par des éléments discrets (DIS_T) portés sur les segments linéaire (SEG2). Les trois paliers (supports) sont modélisés par des éléments discrets (DIS_TR), Trois masses sont modélisées par des éléments discrets DIS_T portés par les éléments POI1 . Il est important de souligner que, pour la construction des bases modales, il est nécessaire de modéliser les relations entre les masses par le biais d'un discret (DIS_T) porté par un segment linéaire (SEG2) dont la rigidité est très faible.

2.3 Paramètres de modélisation

2.3.1 Modélisation A

La modélisation A correspond au cas où les masses viennent s'entrechoquer entre elles. La relation de choc frontal est modélisée via RELATION = 'DIS_CHOC' et donc caractérisée par une raideur de rigidité normale (modélisation de choc avec pénalisation) ainsi que un amortissement lié à la vitesse du mouvement relatif entre masses :

- Choc entre m_{left} et m_{center} :la rigidité normale k_n = 1.0E+7 (N/m)
- Choc entre m_{right} et m_{center} :la rigidité normale k_n = 3.0E+6 (N/m)

La distance physique entre masses est de 0.1 m, correspondant à la distance entre masses dans le maillage. La valeur du mot-clé JEU est donc zéro.

La valeur de l'amortissement tangentiel de choc (unité N m/s en USI) est automatiquement optimisé de façon à minimiser les oscillations résiduelles en adhérence selon la formule :

$$c_i = 2\sqrt{(k_n + k_i)m_i} - 2\,\xi_i\sqrt{k_i m_i}$$

où i est l'indice du mode prépondérant dans la réponse de la structure.

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

2.3.2 Modélisation B

La modélisation B correspond au cas où les masses se relient entre elles par le biais d'un dispositif représentant le flambage linéaire. La relation de flambage est modélisée via RELATION = 'FLAMBAGE' et donc caractérisée par des paramètres suivants :

Paramètres	Mots-clés	Relation entre m_{left} et m_{center}	Relation entre m_{right} et m_{center}
Force normale limite qui entraîne le flambage de la structure	FNOR_CRIT	0.50 (N)	0.50 (N)
Force normale limite après flambage qui provoque une déformation résiduelle de la structure.	FNOR_POST_FL	0.25 (N)	0.25 (N)
Valeur de la rigidité normale avant flambage	RIGI_NOR	1.00 (N/m)	5.00 (N/m)
Valeur de la rigidité normale après flambage.	RIGI_NOR_POST_FL	0.0 (N/m)	0.0 (N/m)

Tableau 2.3.2-1

2.3.3 Modélisation C

La modélisation C correspond au cas où les masses se relient entre elles par le biais d'un dispositif anti-sismique. La relation est modélisée via RELATION = 'ANTI_SISM'. Elle permet de calculer la force non linéaire que représente le dispositif anti-sismique selon la formule :

$$F_D = K_2 x + \frac{(K_1 - K_2)x}{\sqrt{1+(K_1 x / P_y)^2}} + C\, sign(\dot{x}) \left| \dot{x} \frac{x}{x_{max}} \right|^{\alpha}$$

et est donc caractérisée pour ce cas-test par des paramètres suivants :

Mots-clés	Notation dans la formule	Valeurs
RIGI_K1	K_1	6.0E+06 (N/m)
RIGI_K2	K_2	0.53E+06 (N/m)
SEUIL_FX	P_y	1200. (N)
C	C	0.07E+05 (Nm/s)
PUIS_ALPHA	α	0.2 (-)
DX_MAX	x_{max}	0.03 (m)

Tableau 2.3.3-1

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

2.3.4 Modélisation D

La modélisation D correspond au cas où les masses se relient entre elles par le biais d'un dispositif représentant un comportement viscoélastique non linéaire. La relation est modélisée via RELATION = 'DIS_VISC' avec un schéma du dispositif comme suit :

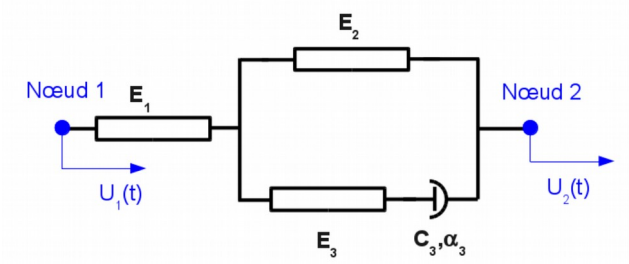


Figure 2.3.4-1

Mots-clés	Valeurs
K1	120.00 (N/m)
K2	10.00 (N/m)
K3	60.00 (N/m)
C	1.70 (N s/m)
PUIS_ALPHA	0.5 (-)

Tableau 2.3.4-1

2.3.5 Modélisation E

La modélisation E correspond au cas où les masses se relient entre elles par le biais d'un dispositif représentant un comportement non linéaire défini par une fonction déplacement-force. La relation est modélisée via RELATION = 'DIS_ECRO_TRAC'. La fonction définissant la relation non-linéaire entre m_{left} et m_{center} est fournie la formule suivante :

$$Y_1(p)=S_Y+\frac{K_p p}{\sqrt[\rho]{1+\left(\frac{K_p p}{S_U-S_Y}\right)^{\rho}}}$$

o ù :

- $S_Y=200(N)$
- $S_U=450(N)$
- $K_p=400(N/m)$
- $\rho=1.50$
- valeur de p allant de 0 à 0.2 m avec un pas de 0.01 m.

La fonction définissant la relation non-linéaire entre m_{right} et m_{center} est définie par la fonction suivante :

$$Y_2(p)=0.5\,Y_1(p)$$

2.3.6 Modélisation F

La modélisation F correspond au cas où une relation force-déplacement sur le degré de liberté DX du nœud porté la m_{center} est modélisée via RELATION = 'RELA_EFFO_DEPL'. La fonction non-linéaire est définie via l'opérateur DEFI_FONCTION comme suit :

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

```
FX_REL   = DEFI_FONCTION(NOM_RESU = 'FORC',
                         NOM_PARA = 'DX',
                         PROL_GAUCHE='LINEAIRE',
                         PROL_DROITE='LINEAIRE',
                         VALE     = ( 0. ,  0.,
                                      1. , -1.E5))
```

2.3.7 Modélisation G

La modélisation F correspond au cas où une relation force-vitesse sur le degré de liberté DX du nœud porté la m_{center} est modélisée via RELATION = 'RELA_EFFO_VITE'. La fonction non-linéaire est définie via l'opérateur DEFI_FONCTION comme suit :

```
FV_REL   = DEFI_FONCTION(NOM_RESU = 'FORC',
                         NOM_PARA = 'DX',
                         PROL_GAUCHE='LINEAIRE',
                         PROL_DROITE='LINEAIRE',
                         VALE     = ( 0. ,  0.,
                                      1. , -1.E5))
```


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

3 Résultats de la modélisation

Les fonctions extraites des résultats de l'opérateur DYNA_VIBRA sont vérifiées à un « instant » de paramètre donné :

Modélisation	Variable interne testée	Valeur «instant»	*Valeur calculée*
A	F_NORMAL	0.68044 (s)	1698.446690744 (N)
B	ENFO_PLA	Max	3.768582449313 (-)
C	F_AXIAL (m_{left} et m_{center})	0.50 (s)	299.2592122524 (N)
	F_ AXIAL (m_{right} et m_{center})	0.50 (s)	-351.300917823 (N)
D	DXLOC_N1 (m_{left} et m_{center})	0.50 (s)	-1.65534568841 (m)
	DXLOC_N1 (m_{right} et m_{center})	0.50 (s)	1.55534568841 (m)
E	DXLOC_N1 (m_{left} et m_{center})	0.50 (s)	0.23532826190 (m)
	DXLOC_N1 (m_{right} et m_{center})	0.50 (s)	-0.33532826190 (m)
F	FCMP_LOC	0.50 (s)	-1.20303127238 (N)
G	FCMP_LOC	0.45 (s)	9.562489444456 (N)

Tableau 3-1

4 Synthèse des résultats

Mise en ouvre des données d'entrée pour les différents comportements non-linéaire localisés effectuée avec bon déroulement des calculs

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