SDLL23 - Poutre encastrée-libre soumise à un séisme (réponse spectrale)

Résumé

Ce problème unidirectionnel consiste à effectuer une analyse sismique spectrale d'une poutre encastrée-libre, munie de deux masses localisées, soumise à une excitation tridimensionnelle fournie sous la forme d'un spectre d'oscillateurs en pseudo-accélération.

Par l'intermédiaire de ce problème, on teste les combinaisons modales DPC, SRSS, CQC et DSC de l'opérateur COMB_SISM_MODAL. La combinaison SRSS est testée avec prise en compte des modes négligés.

Par ailleurs, on teste les opérateurs CALC_MODES, NORM_MODE, MODE_STATIQUE, DEFI_FONCTION et DEFI_NAPPE.

Concernant la modélisation A, les résultats obtenus, relatifs à des poutres d'Euler, sont en accord avec les résultats d'autres codes, pour les cas sans prise en compte du pseudo-mode. Les différences avec les résultats de référence dans le cas où on prend en compte le pseudo-mode s'expliquent par une hypothèse de calcul différente pour la détermination de ce pseudo-mode.

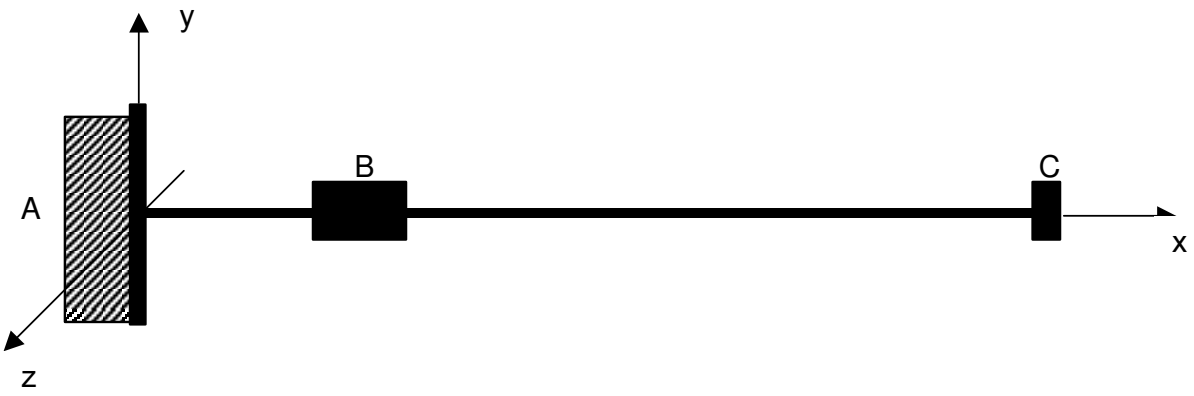
La modélisation B, en poutres d'Euler, est relative à un maillage plus raffiné que celui de la modélisation A.

La modélisation C comporte des poutres de Timoshenko et est relative à un maillage identique à celui de la modélisation B ; les résultats montrent des écarts non négligeables avec la modélisation en poutres d'Euler et sont très sensibles au coefficient de cisaillement.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Longueur de la poutre : $l=10\,m$
La masse B est à une distance de $0{,}5\,m$ du point A.
Section transversale de la poutre :

Aire : $A=78.1\,10^{-4}\,m^2$

Moments d'inertie : $I_y=5696.10^{-8}\,m^4$

$I_z=2003.10^{-8}\,m^4$

$J_x=7699.10^{-8}\,m^4$

1.2 Propriétés de matériaux

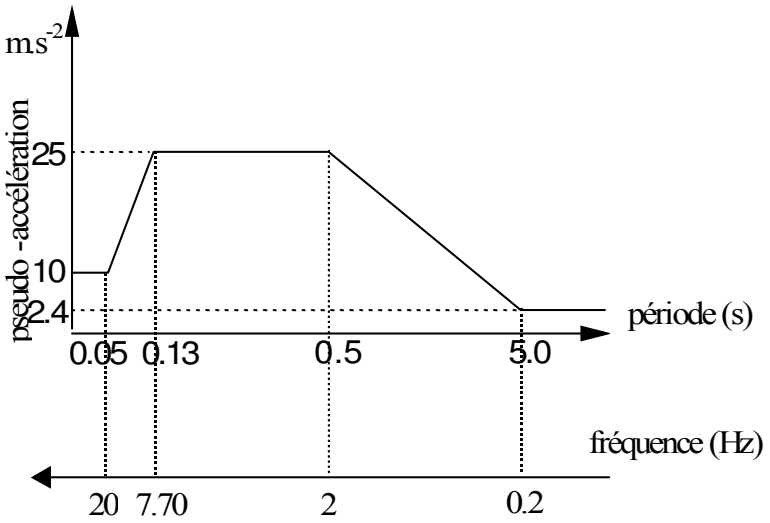
Poutre	module d'Young	$E=2.10^{11}\,Pa$	
	masse volumique	$\rho=0\,kg/m^3$	(masse de la poutre nulle)
	coefficient de Poisson	$\nu=0{,}3$	
Masse en B	$m_B=50000\,kg$		
Masse en C	$m_C=5000\,kg$		

1.3 Conditions aux limites et chargements

Point A encastré.

Spectre d'oscillateur en accélération appliqué en A dans les trois directions, de même valeur pour les 3 amortissements $0{,}5\%$, 1% et $1{,}5\%$.

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



Pour le calcul, on utilise un amortissement réduit de 1%, avec une interpolation (LOG LOG) en fréquence et (LIN LOG) en amortissement.

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

Modélisation A :
Guide VPCS (non paru) : comparaison avec les codes STRUDL, POUX, SYSTUS, CASTOR, SAP IV [1].

Pour la comparaison de la méthode CQC, comparaison avec Castem2000.

Modélisation B et modélisation C : non régression

2.2 Résultats de référence

6 premières fréquences propres et facteurs de participation.
Déplacements des points B et C, réaction nodale au point A (réponse sur 3 modes pour les combinaisons DPC et SRSS, réponse sur 6 modes pour les combinaisons DPC, CQC et DSC).

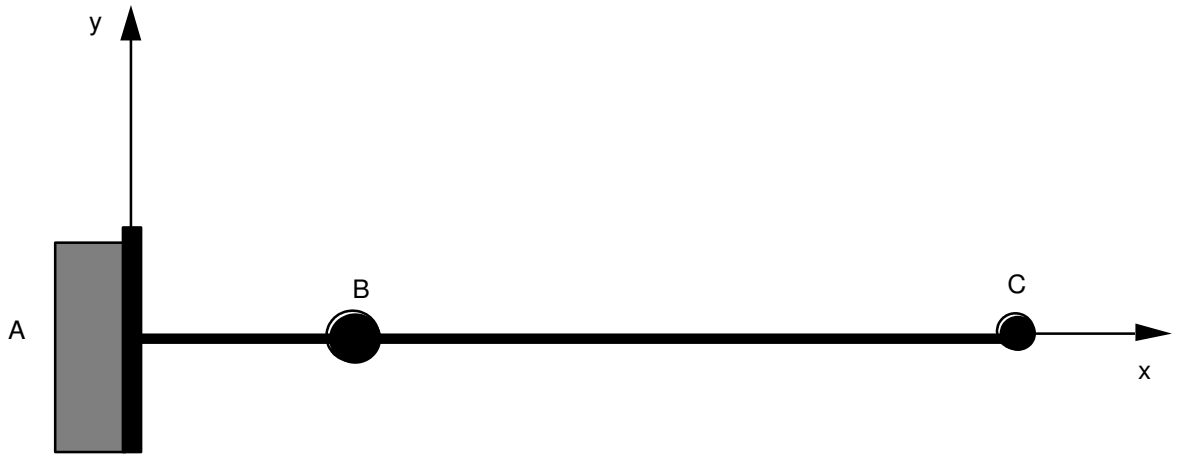
2.3 Références bibliographiques

[1] J. PIRANDA, Laboratoire de Mécanique Appliquée - Université de Franche Comté Besançon (France). Fiche SFM – Validation des Progiciels de Calculs de Structures – Groupe Analyse Dynamique, juin 1991. Guide VPCS 1991 non paru.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation



Poutre droite modélisée par 3 nœuds et 2 ***SEG2*** de type ***POU_D_E***
Masse modélisée par des éléments ***discrets M_T_N***

Cette modélisation contenant 2 éléments seulement est insuffisamment raffinée pour permettre une bonne représentation des 6 premiers modes. Elle est néanmoins conservée dans ce cas-test pour comparaison avec d'autres codes ainsi qu'indiqué dans le guide VPCS.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 3

Nombre de mailles et types : 2 SEG2 (POU_D_E), 2 POI1 (DIS_T_N)

3.3 Paramètres de modélisation

Réponse sur les 3 premiers modes sans correction statique (combinaison des réponses modales DPC)
Réponse sur les 6 modes (combinaison des réponses modales DPC, CQC, DSC durée : $5s$)
Réponse sur les 3 premiers modes avec correction statique des 3 modes négligés (combinaison des réponses modales SRSS)

Combinaison quadratique des réponses directionnelles (QUAD).

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

3.4 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs de référence sont les moyennes des résultats des codes comparés, ainsi des valeurs de non régression pour le calcul avec correction statique.

Identification			Référence VPCS	Tolérance	Référence non régression	Tolérance
Fréquences propres						
1			0.24691	0.01		
2			0.41666	0.01		
3			7.4074	0.01		
4			12.5	0.01		
5			27.777	0.01		
6			41.666	0.01		
Direction	numéro_mode		Facteur de participation			
DY	1		73.3	0.01		
DZ	2		73.3	0.01		
DY	3		223.	0.01		
DZ	4		-223.	0.01		
DX	5		130.	0.01		
DX	6		195.	0.01		
Réponse sur 3 modes (DPC)						
DEPL	B	DY	1.254E-02	0.02		
	B	DZ	2.8E-03	0.02		
	C	DY	1.269	0.02		
	C	DZ	7.574E-01	0.02		
REAC	A	DX	0.000	0.001		
	A	DY	1.231E+06	0.02		
	A	DZ	2.7E+04	0.02		
	A	DRY	2.56E+05	0.03		
	A	DRZ	5.91E+05	0.02		
Réponse sur 6 modes (DPC)						
DEPL	B	DX	1.32E-04	0.02		
	B	DY	1.255E-02	0.02		
	B	DZ	3.829E-03	0.02		
	C	DX	5.999E-04	0.02		
	C	DY	1.269	0.02		
	C	DZ	7.579E-01	0.02		
REAC	A	DX	4.12E+05	0.02		
	A	DY	1.227E+06	0.02		
	A	DZ	7.96E+05	0.02		
	A	DRY	4.49E+05	0.02		
	A	DRZ	5.90E+05	0.02		
Réponse (SRSS) sur 3 modes avec			correction statique			
DEPL	B	DX	1.76E-04	1.6	4.401E-04	0.001
	B	DY	1.267E-02	0.02	0.012	0.001
	B	DZ	3.3E-03	0.5	4.949E-03	0.001
	C	DX	4.8E-04	1.6	1.200E-03	0.001
	C	DY	1.277	0.02	1.282	0.001
	C	DZ	0.762	0.02	0.767	0.001
REAC	A	DX	5.46E+05	1.6	1.375E+06	0.001
	A	DY	12.30E+05	0.02	1.241E+06	0.001

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

	A	DZ	4.90E+05	1.6	1.241E+06	0.001
	A	DRY	3.43E+05	0.85	6.337E+05	0.001
	A	DRZ	5.91E+05	0.02	5.969E+05	0.001
Réponse sur 6 modes (CQC)						
DEPL	B	DX	$1.337\ 10^{-4}$	0.02		
	B	DY	$1.247\ 10^{-2}$	0.02		
	B	DZ	$3.814\ 10^{-3}$	0.02		
	C	DX	6.012E-4	0.02		
	C	DY	1.282	0.02		
	C	DZ	0.767	0.02		
REAC	A	DX	4.18E+5	0.02		
	A	DY	12.40E+5	0.02		
	A	DZ	7.816E+5	0.02		
	A	DRY	4.481E+5	0.02		
	A	DRZ	5.969E+5	0.02		
Réponse sur 6 modes (DSC, durée 5 s)						
DEPL	B	DX	$1.339\ 10^{-4}$	0.02		
	B	DY	$1.248\ 10^{-2}$	0.02		
	B	DZ	$3.816\ 10^{-3}$	0.02		
	C	DX	$6.009\ 10^{-4}$	0.02		
	C	DY	1.282	0.02		
	C	DZ	$7.673\ 10^{-1}$	0.02		
REAC	A	DX	$4.183\ 10^{5}$	0.02		
	A	DY	$1.240\ 10^{6}$	0.02		
	A	DZ	$7.816\ 10^{5}$	0.02		
	A	DRY	$4.483\ 10^{5}$	0.02		
	A	DRZ	$5.971\ 10^{5}$	0.02		

3.5 Remarques

Valeur du spectre (interpolation) :

Mode	1	2	3	4	5	6
Spectre	2.972	5.058	25.	15.74	10.	10.

Matrice de corrélation CQC :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1.38E-3 & 5.05E-6 & 2.27E-6 & 6.85E-7 & 3.65E-7 \\ & 1 & 1.13E-5 & 5.05E-6 & 1.51E-6 & 8.04E-7 \\ & & 1 & 1.38E-3 & 1.64E-4 & 7.48E-5 \\ & & & 1 & 5.61E-4 & 2.04E-4 \\ & & & & 1 & 2.21E-3 \\ & & & & & 1 \end{pmatrix}$$

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Poutre droite modélisée par 22 nœuds et 21 éléments SEG2 de type POU_DE.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 22

Nombre de mailles et types : 21 SEG2 (POU_D_E), 2 POI1 (DIS_T_N)

4.3 Paramètres de modélisation

Réponse sur les 3 premiers modes sans correction statique (combinaison des réponses modales DPC)
Réponse sur les 6 modes (combinaison des réponses modales DPC, CQC, DSC durée : 5 s)
Réponse sur les 3 premiers modes avec correction statique des 3 modes négligés (combinaison des réponses modales SRSS)
Combinaison quadratique des réponses directionnelles (QUAD).

4.4 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs de référence sont des valeurs de non régression.

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Poutre droite modélisée par 22 nœuds et 21 éléments SEG2 de type POU_D_TG.
Cette modélisation a été rajoutée pour tester l'influence du type d'élément poutre considéré. Les coefficients de cisaillement AY et AZ ($AY=AZ=6/5$) correspondent à une section rectangle.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 22

Nombre de mailles et types : 21 SEG2 (POU_D_TG), 2 POI1 (DIS_T_N)

5.3 Paramètres de modélisation

Réponse sur les 3 premiers modes sans correction statique (combinaison des réponses modales DPC)

Réponse sur les 6 modes (combinaison des réponses modales DPC, CQC, DSC durée : $5s$)

Réponse sur les 3 premiers modes avec correction statique des 3 modes négligés (combinaison des réponses modales SRSS).

Combinaison quadratique des réponses directionnelles (QUAD).

5.4 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs de référence sont des valeurs de non régression.

6 Synthèse des résultats

Modélisation A :
Cas sans prise en compte du pseudo-mode : parfait accord des résultats *Code_Aster* avec la fiche de validation qui indique une tolérance de 2% sur les valeurs de référence.
Cas avec prise en compte du pseudo-mode : des différences importantes avec la fiche de validation, pouvant aller jusqu'à 160% ; elles s'expliquent par une hypothèse de calcul différente (dans la référence, le pseudo-mode est calculé à partir de la valeur du SRO correspondant à l'asymptote du spectre, alors que, dans *Code_Aster*, le pseudo-mode est calculé à partir de la valeur du SRO correspondant à la dernière fréquence de la base modale considérée). A noter que les valeurs obtenues par *Code_Aster* sont conservatives par rapport à un calcul avec base modale non tronquée avant la fréquence de coupure.

A noter que les modélisations B et C contenant 21 éléments occasionnent un facteur de participation du mode 4 positif, alors qu'il est négatif avec la modélisation A.

Les résultats de la modélisation C (notamment les réactions nodales) sont très sensibles aux valeurs des coefficients de cisaillement.

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