

ZZZZ108 - Test de l'interface Code_Aster-MISS3D

Résumé :

Ce test permet de modéliser en dynamique linéaire harmonique et transitoire une structure industrielle : celle du test SDLL109 (éléments discrets et poutres) complétée à sa base d'éléments volumiques et surfaciques.

Son intérêt est de tester les commandes du *Code_Aster* spécifiques à l'interaction sol-structure en vue de l'interfaçage avec le logiciel MISS3D (ECP-LMSSM).

On peut ainsi traiter avec une seule et même résolution dans MISS3D plusieurs résultats transitoires ou harmoniques restitués sur la base physique par le *Code_Aster*.

Dans ce test, on teste également une autre possibilité de résolution, uniquement par le *Code_Aster*, en utilisant l'opérateur de résolution harmonique après avoir récupéré de MISS3D les impédances de sol et les forces sismiques variables en fonction de la fréquence.

On introduit également le test en post-traitement de déplacements en des points de contrôle situés dans le sol et ajoutés à la modélisation de la structure par *Code_Aster*.

Une modélisation avec de tels points de contrôle permet également de tester les champs incidents induits à divers niveaux en profondeur du sol par une onde plane décrite comme à incidence inclinée.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On reprend le modèle du test SDLL109 [V2.02.109] (Civaux - N4) à l'exception de la maille inférieure de type SEG2 entre -3.00 m et -6.05 m remplacée par une couche de 136 mailles surfaciques TRIA3 pour représenter le radier et affecter 6 ddl à sa face inférieure.

La modélisation présentée est une modélisation simplifiée pour laquelle le bâtiment est représenté par une structure plane. Quatre sous-structures (représentant l'enceinte externe, l'enceinte interne, les structures internes et le puits de cuve) sont représentées par quatre poutres verticales non pesantes, d'inertie de flexion variable et portant des masses et des inerties nodales représentant le génie civil et les équipements. Des liaisons élastiques discrètes relient ces poutres à différents niveaux. Les quatre poutres sont encastrées sur un radier général de grande inertie de flexion.

1.2 Propriétés de matériaux

$$E = 4.0 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$$

$$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3 \text{ (éléments pesants seulement)}$$

$$\nu = 0.149425$$

+ caractéristiques de masses ponctuelles ('M_TR_D_N') et de liaisons nœud-nœud ('K_TR_D_L').

1.3 Conditions aux limites et chargements

Liaisons solides sur les faces supérieure et inférieure du radier (LIAISON_SOLIDE sur les groupes de nœuds HRADIER et SRADIER).

- Blocage du nœud central (N98) de la face inférieure (6 degrés de liberté) pour calculer les modes de corps rigide,
- Force nodale de 10^4 Newtons appliquée au nœud N1500 ,
- Ou accélération transitoire spectre EUR dans la direction X d'amplitude 0.25 g ,
- Ou accélération harmonique unitaire dans les directions X et Y

1.4 Conditions initiales

Déplacements, vitesses et accélération nulles.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Résolution en base modale de projection (constituée par des modes propres avec interface bloquée et des modes statiques contraints calculés par le *Code_Aster*) effectuée par MISS3D dans le domaine des fréquences sur les éléments finis de frontière.

Il y a également la possibilité de procéder à cette résolution par le *Code_Aster* en utilisant l'opérateur de résolution harmonique après avoir récupéré de MISS3D les impédances de sol et les forces sismiques variables en fonction de la fréquence

Retour en temps post-traité par MISS3D par transformation de Fourier inverse.

Retour sur la base physique d'une évolution harmonique ou transitoire résultat du *Code_Aster*.

2.2 Résultats de référence

Réponses harmoniques aux nœuds supérieurs (N800, N1500 et N2700) à des fréquences proches des résonances (cf. test SDLL109 [V2.02.109]).

Accélération transitoires maximales en ces mêmes points pour un spectre EUR de 0.25 g .

2.3 Incertitude sur la solution

Solution numérique.

2.4 Références bibliographiques

- Manuel d'utilisation et référence de MISS3D - (version 5.6) (D. CLOUTEAU - Laboratoire MSSM-ECP).
- Interface Aster-MISS3D : principe et utilisation (G. DEVESA - Note Technique HP-62/95/038/B).

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

25 éléments de poutre `POU_D_T`,

5 éléments de liaison nœud-nœud (`DIS_TR_L`),

26 éléments `POI1` de masse ponctuelle (`DIS_TR_N`),

2 éléments `POI1` de masse ponctuelle nulle (`DIS_T`) pour modéliser des points de contrôle dans le sol à post-traiter,

136 éléments volumiques (modélisation '3D') pour le radier et 136 éléments `DST` pour sa face inférieure.

1er calcul harmonique : dans l'intervalle (0,10 Hz) par pas de 0.1 Hz ,

2ème calcul harmonique : dans l'intervalle (0,10 Hz) par pas de 0.1 Hz ,

3ème calcul transitoire : dans l'intervalle (0,10 s) par pas de 10^{-2} s .

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 190

Nombre de mailles et type : 136 PENTA6, 136 TRIA3, 30 SEG2, 28 POI1

3.3 Grandeurs testées et résultats

3.4 Valeurs testées

Calcul harmonique (complexe) : résolution par MISS3D ou Code_Aster

Identification	Aster
Déplacement <code>UX</code> , Nœud 1500, Fréq. : 3.9 Hz	$(9.871 E - 7, -5.369 E - 6) m$
Déplacement <code>UX</code> , Nœud 800, Fréq. : 3.9 Hz	$(-5.724 E - 7, -3.946 E - 6) m$
Déplacement <code>UX</code> , Nœud 800, Fréq. : 4.8 Hz	$(-8.385 E - 7, 2.540 E - 6) m$
Déplacement <code>UX</code> , Nœud 2700, Fréq. : 3.9 Hz	$(1.033 E - 7, -2.244 E - 6) m$
Déplacement <code>UX</code> , Nœud 2700, Fréq. : 7.5 Hz	$(-8.612 E - 8, 1.151 E - 6) m$

Calcul harmonique : résolution par MISS3D et post-traitement aux points de contrôle

Identification	Aster
Accélération <code>AX</code> , Point <code>NC1</code> (75,0,-6.05), Fréq. : 3.9 Hz	$(9.584 E - 1, -5.455 E - 2) m/s^2$
Accélération <code>AX</code> , Point <code>NC2</code> (50,0,-6.05), Fréq. : 3.9 Hz	$(9.662 E - 1, -1.136 E - 1) m/s^2$
Accélération <code>AY</code> , Point <code>NC1</code> (75,0,-6.05), Fréq. : 3.9 Hz	$(9.561 E - 1, -4.853 E - 2) m/s^2$
Accélération <code>AY</code> , Point <code>NC2</code> (50,0,-6.05), Fréq. : 3.9 Hz	$(9.578 E - 1, -9.910 E - 2) m/s^2$
Accélération <code>AX</code> , Point <code>NC1</code> (75,0,-6.05), Fréq. : 4.8 Hz	$(9.893 E - 1, 4.942 E - 3) m/s^2$

Accélération AX , Point $NC2$ (50,0,-6.05), Fréq. : $(9.799 E - 1, -1.616 E - 3) m/s^2$
4.8 Hz

Accélération AY , Point $NC1$ (75,0,-6.05), Fréq. : $(9.876 E - 1, 6.045 E - 3) m/s^2$
4.8 Hz

Accélération AY , Point $NC2$ (50,0,-6.05), Fréq. : $(9.767 E - 1, 6.007 E - 4) m/s^2$
4.8 Hz

Calcul transitoire (réel)

Identification	Aster
Accélération AX , Nœud 1500, $t=3.15 s$	10.108 m/s^2
Accélération AX , Nœud 800, $t=3.15 s$	9.228 m/s^2
Accélération AX , Nœud 2700, $t=1.35 s$	10.841 m/s^2
Accélération AX , Nœud 98, $t=3.10 s$	2.682 m/s^2

3.5 Synthèse des résultats de la modélisation A

Les résultats obtenus illustrent la possibilité d'obtenir une évolution harmonique et une évolution transitoire à partir du même calcul dans MISS3D. Ils constituent des valeurs de test de non régression.

On peut seulement constater, à titre de comparaison, que les pics des réponses harmoniques correspondent aux fréquences de résonance du test SDLL109 obtenues avec un modèle de ressorts de sol équivalent.

D'autre part, pour la résolution dans le domaine des fréquences du problème harmonique projeté sur une base modale constituée par des modes propres avec interface bloquée et des modes statiques contraints, on obtient les mêmes résultats par *Code_Aster* et par MISS3D.

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Cette modélisation se caractérise par la présence de points de contrôle dans le sol afin de modéliser la déconvolution d'un signal sinusoïdal vertical imposé à la surface du sol.

3 éléments POI1 de masse ponctuelle nulle (DIS_T) sont ainsi introduits afin de modéliser des points de contrôle dans le sol à post-traiter.

Ils correspondent à 3 niveaux en profondeur d'un sol homogène : en surface et décalés respectivement d'un quart et d'une demi-longueur d'onde plane de pression à incidence verticale mais traitée comme cas particulier d'incidence inclinée par le mot-clé DIRE_ONDE dans le mot-clé facteur PARAMETRE de l'opérateur MACRO_MISS_3D afin de tester cette fonctionnalité par cette modélisation.

Ce sol est un sol homogène dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-après :

Couche	Epaisseur (m)	ρ (kg/m ³)	ν	E (MPa)	μ
Couche 1	35	2400	0.4	70	0.1

Tableau 6.1-1 : Caractéristiques mécaniques du sol homogène

Ces valeurs induisent une vitesse d'onde de pression $V_p=250\text{ m/s}$, ce qui donne une longueur d'onde de pression de 50 mètres pour une fréquence d'excitation de 5 Hz. Le deuxième et le troisième points de contrôle sont donc enfoncés de respectivement 12.5 m et 25 m dans la direction verticale.

On procède à un calcul transitoire dans l'intervalle (0,4 s) par pas de 10^{-2} s avec une accélération sinusoïdale de fréquence 5 Hz imposée à la surface du sol dans la direction verticale Z.

4.2 Solution de référence

Pour une sollicitation sinusoïdale de fréquence f dans un sol de vitesse d'onde C et d'amortissement hystérétique β , on obtient analytiquement comme facteur d'amplitude à la profondeur Z :

$$Az = sh(\beta \pi f Z/C) \sin(2 \pi f Z/C) + ch(\beta \pi f Z/C) \sin(2 \pi f Z/C)$$

4.3 Grandeurs testées et résultats

Calcul transitoire (réel) résolution par MISS3D et post-traitement aux points de contrôle

Identification	Référence
Accélération AZ, Point NCI (50,0,0), $T=0.05\text{s}$	1.0 m/s^2
Accélération AZ, Point NC2 (50,0,-12.5), $T=0.20\text{s}$	0.0782 m/s^2
Accélération AZ, Point NC3 (50,0,-25.0), $T=0.05\text{s}$	-1.01236 m/s^2

4.4 Synthèse des résultats de la modélisation B

La nouvelle modélisation avec les points de contrôle permet de retrouver les valeurs analytiques d'amplitudes de champs incidents induits à divers niveaux en profondeur du sol, correspondant à la surface et respectivement un quart et une demi-longueur d'onde plane verticale décrite comme à incidence inclinée. Cela permet de tester le mot-clé DIRE_ONDE dans le mot-clé facteur PARAMETRE de l'opérateur MACRO_MISS_3D.

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Cette modélisation reprend les caractéristiques de la modélisation B. Le calcul est effectué avec CALC_MISS et sans ondes inclinées.

5.2 Solution de référence

La solution de référence est obtenue en *dégradant* la modélisation B (suppression des ondes inclinées).

5.3 Grandeurs testées et résultats

Il s'agit des valeurs effectivement obtenues par la modélisation B dégradées

Identification	Référence
Accélération AZ, Point NC1 (50,0,0), T=0.05s	1.0 m/s ²
Accélération AZ, Point NC2 (50,0,-12.5), T=0.20s	0.0781346 m/s ²
Accélération AZ, Point NC3 (50,0,-25.0), T=0.05s	-1.0124 m/s ²

Des tests de non régression sont effectués sur les fonctions de transfert issues de Miss3D.

5.4 Synthèse des résultats de la modélisation C

Les résultats sont très proches (cf. superposition des courbes). Il y a un très léger déphasage. Les amplitudes sont très voisines, en relevant les valeurs aux instants donnés, l'écart est de l'ordre de 1 %.

