SSNV160 - Essai hydrostatique avec la loi CAM_CLAY

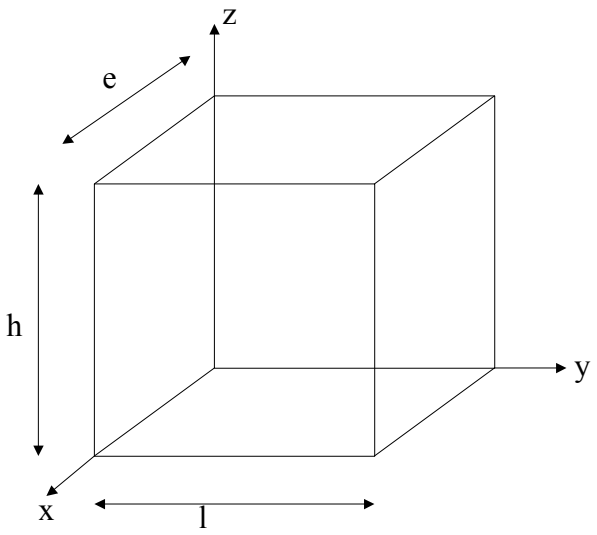
Résumé :

Ce test permet de valider la loi mécanique élasto-plastique Cam_Clay spécifique aux sols normalement consolidés dont la partie élastique est non-linéaire et la partie plastique est durcissante ou adoucissante. Ce test est un essai de compression hydrostatique. Une solution de référence est donnée. Les modélisations a et b qui faisaient appel à la recherche linéaire sont résorbées, c'est pourquoi seules les modélisations c et d sont rédigées. La modélisation e est ajoutée pour tester l'opérateur SIMU_POINT_MAT, pour la même simulation sur un point matériel.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



hauteur : $h=1\mathrm{m}$
largeur : $l=1\,m$
épaisseur : $e=1\,m$

1.2 Propriétés du matériau

Paramètres spécifiques à CAM_CLAY :

dans la modélisation C :
$\mu=3.846154\,10^6\,Pa$, $PORO=0.5$, $\lambda=0.2$, $\kappa=0.05$, $M=1.02$, $\mathrm{PRES_CRIT}=10^7\,Pa$, $K_{cam}=6.5\,10^6\,Pa$; $P_{trac}=-10^5\,Pa$

dans la modélisation D : $\mu=6\,10^6\,Pa$, $PORO=0.66$, $\lambda=0.25$, $\kappa=0.05$, $M=0.9$, $\mathrm{PRES_CRIT}=3.\,10^5\,Pa$, $K_{cam}=0.$; $P_{trac}=0$; dans ce cas les contraintes sont initialisées.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Dans la modélisation C :

L'essai hydrostatique est effectué avec un état de contraintes homogènes qui démarre à $\sigma_{xx}=\sigma_{yy}=\sigma_{zz}=P_{trac}$. On augmente ensuite P jusqu'à $P_{\sup}$ en effectuant un chargement avec Cam_Clay suivi d'une décharge jusqu'à P_{trac} .

Dans la modélisation D :

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

L'essai hydrostatique est effectué avec un état de contraintes homogènes : $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = P$. On fait un premier calcul élastique jusqu'à $P = PA$. On augmente ensuite P jusqu'à $P_{\sup}$ en effectuant un chargement avec Cam_Clay suivi d'une décharge jusqu'à PA.

1.4 Conditions initiales

Dans la modélisation C :

Dans cette modélisation, une compressibilité initiale est donnée comme un paramètre matériau, $K_{cam} = 6{,}5 10^6 \ Pa$, il n'est donc pas nécessaire d'initialiser le champs des contraintes.

Dans la modélisation D :

La valeur de la compressibilité initiale est nulle $K_{cam} = 0$. Il est donc nécessaire d'initialiser l'état de contraintes, car dans l'expression de la contrainte hydrostatique de la loi CAM_CLAY, pour une déformation volumique nulle, la contrainte est non nulle.

Pour initialiser cette contrainte, on a choisi d'effectuer au départ un calcul purement élastique en faisant évoluer la pression de $0.$ à $1.E5 \, Pa$. On extrait de ce calcul uniquement le champ de contraintes aux points de gauss. Ce champ de contraintes issu du calcul élastique est considéré comme l'état initial de la contrainte hydrostatique nécessaire à la loi CAM_CLAY du calcul suivant.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Dans un essai hydrostatique : $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$ et la contrainte hydrostatique est $P = - \frac{tr(\sigma)}{3}$ (convention de la mécanique des sols).

Pour le calcul de la déformation volumique totale, on distingue les deux cas :

1er cas : Cas de l'élasticité non-linéaire, la pression hydrostatique est inférieure à la pression de consolidation ; $P < P_{consolidation} = 2P_{cr} - P_{trac}$

$$P = P_0 \exp(k_0 \varepsilon_v^e) + \frac{K_{cam}}{k_0}\left(\exp(k_0 \varepsilon_v^e) - 1\right) \text{ ou}$$

$$\varepsilon_v^e = \frac{1}{k_0} Ln\left[\frac{k_0 P + K_{cam}}{k_0 P_0 + K_{cam}}\right]$$

Dans ce cas, la déformation totale est égale à la déformation élastique : $\varepsilon_v = \varepsilon_v^e$

2ème cas : Cas de la plasticité, la pression hydrostatique a dépassé la pression de consolidation, il y a donc durcissement :

$P > 2P_{cr} = P_{consolidation}$, $P = 2P_{cr}$ après plastification.

et la pression critique évolue comme suit

$$P_{cr} = P_{cr0} \exp(k \varepsilon_v^p)$$

et la déformation volumique : $\varepsilon_v^p = \frac{1}{k} Ln\left[\frac{P + P_{trac}}{2P_{cr0}}\right]$

Dans ce cas, il faut prendre en compte la déformation plastique dans le calcul de la déformation totale

$$\varepsilon_v = \varepsilon_v^e + \varepsilon_v^p = \frac{1}{k_0} Ln\left[\frac{k_0 P + K_{cam}}{k_0 P_0 + K_{cam}}\right] + \frac{1}{k} Ln\left[\frac{P + P_{trac}}{2P_{cr0}}\right]$$

2.2 Grandeurs et résultats de référence

L'essai est homogène. On teste la déformation volumique en un nœud quelconque où les composantes sont égales : $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} = - \frac{\varepsilon_v}{3}$

2.3 Incertitudes sur la solution

Aucune. Résultat analytique exact.

2.4 Référence bibliographique

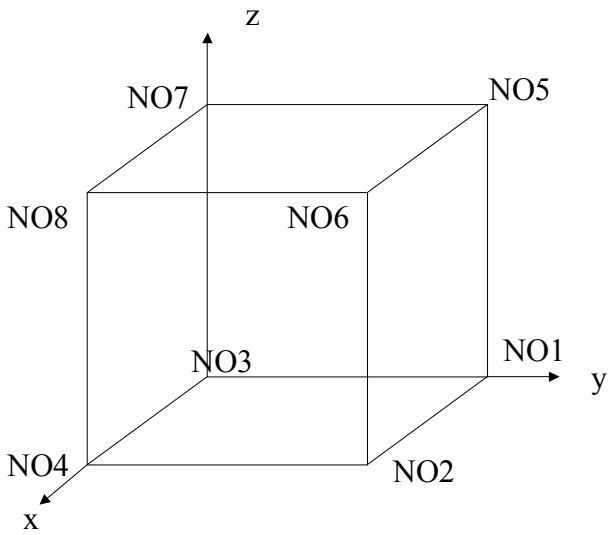
- Charlez Ph. A. (Rapport Total) : exemple de modèle poroplastique : le modèle de Cam_Clay

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

3 Modélisation C

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D



3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles : 1 de type HEXA 8
6 de type QUAD 4

On définit les mailles suivantes :

ARRIERE	*NO1 NO3 NO7 NO5*
AVANT	*NO2 NO6 NO8 NO4*
DROITE	*NO1 NO5 NO6 NO2*
GAUCHE	*NO3 NO4 NO8 NO7*
BAS	NO1 NO2 NO4 NO3
HAUT	*NO5 NO7 NO8 NO6*

Pour représenter la 1/8ème de la structure, les conditions aux limites en déplacement imposées sont :

Sur les nœuds $NO1$, $NO2$, $NO4$ et $NO3$: $DZ=0$
Sur les nœuds $NO3$, $NO4$, $NO8$ et $NO7$: $DY=0$
Sur les nœuds $NO2$, $NO6$, $NO8$ et $NO4$: $DX=0$

Le chargement est constitué de la même pression répartie en compression sur les 3 mailles : $HAUT$, $DROITE$ et $ARRIERE$ pour simuler un essai hydrostatique.

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

3.3 Grandeurs testées et résultats

La composante ε_{xx} au nœud $NO6$ a été testée, dans ce cas $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz}$

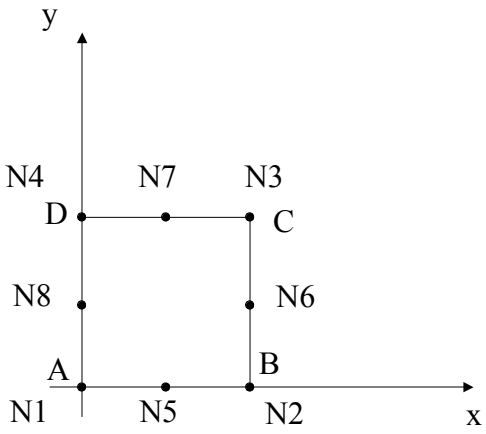
Instant	Référence	Aster	% différence
5000.	-4.7698-02	-4.7698-02	1.19E-04 %
6000.	-4.9840-02	-4.9840-02	9.63E-07 %
6500.	-5.0861-02	-5.0861-02	6.57E-07 %
7000.	-5.1852-02	-5.1852-02	1.34E-05 %
7500.	-5.2815-02	-5.2815-02	3.74E-06 %
8000.	-5.3750-02	-5.3750-02	1.17E-05 %
9000.	-4.0516–02	-4.0516–02	-2.67E-06 %
10000.	-2.2572–03	-2.2572–03	1.53E-04 %

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

4 Modélisation D

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation axisymétrique



4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles : 1 de type QUAD 8
4 de type SEG3

On définit les mailles suivantes : AB , BC , CD et DA
Pour représenter un quart de la structure, on met les conditions aux limites suivantes :
Sur AB : $DY=0$
Sur AD : $DX=0$
On impose une pression égale sur les mailles BC et CD pour simuler un test hydrostatique.

4.3 Grandeurs testées et résultats

La composante ε_{xx} au nœud C a été testée, dans ce cas $\varepsilon_{xx}=\varepsilon_{yy}=\varepsilon_{zz}$

Instant	Référence	Aster	% différence
5000.	-9.12015–03	-9.12015–03	1.88E-06 %
6000.	-1.01533–02	-1.01533 –02	9.18E-06 %
6500.	-1.24211–02	-1.24211–02	3.04E-06 %
7000.	-1.45209–02	-1.45209–02	4.31E-05 %
7500.	-1.64757–02	-1.64757–02	2.60E-05 %
8000.	-1.83042–02	-1.83042–02	3.12E-05 %
9000.	-1.66740–02	-1.66740–02	4.38E-05 %
10000.	-6.52079–03	-6.52079 –03	1.24E-05 %

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

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

5 Synthèse des résultats

Les valeurs obtenues avec *Code_Aster* sont en accord avec les valeurs de la solution analytique de référence.

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