SSNV184 - Essai triaxial avec le modèle de Hoek-Brown modifié

Résumé

Ce test permet de valider la loi de comportement élasto-plastique de Hoek-Brown modifiée en mécanique des roches. Il s'agit d'un essai triaxial pour lequel les calculs sont effectués en mécanique pure. Trois niveaux de confinement sont appliqués : $5\,MPa$, $12\,MPa$ et $25\,MPa$. Pour des raisons de symétrie, on ne s'intéresse qu'au huitième d'un échantillon soumis à un essai triaxial.

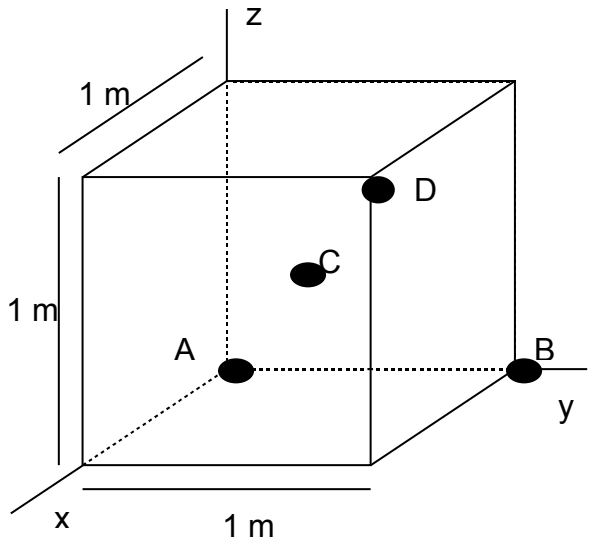
Il s'agit d'un test de non-régression.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère ici un cube de dimension $1\mathrm{m}\times 1\mathrm{m}\times 1\mathrm{m}$.



Coordonnées des points (en m) :

	A	B	C	D
x	0	0	0.5	1
y	0	1	0.5	1
z	0	0	0.5	1

1.2 Propriétés du matériau

Paramètres de la loi de comportement élastique :

$E=4500\,MPa$
$\nu=0.3$

Paramètres de la loi de Hoek-Brown modifiée :

$\gamma^{rup}=0.005$
$\gamma^{res}=0.017$
$(S\sigma_c^2)^{end}=225\,MPa^2$
$(S\sigma_c^2)^{rup}=482.5675\,MPa^2$
$(m\sigma_c)^{end}=13.5\,MPa$
$(m\sigma_c)^{rup}=83.75\,MPa$
$\beta=3\,MPa$
$\phi^{rup}=15°$
$\phi^{res}=30°$
$\alpha=3.3$

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1.3 Conditions initiales, aux limites et chargement

Le test se décompose en deux phases :

1) Dans un premier temps, on amène l'échantillon à un état homogène $\sigma_{xx}^0 = \sigma_{yy}^0 = \sigma_{zz}^0$. Pour cela, la pression de confinement correspondante est imposée sur les faces avant ($x = 1$), latérale droite ($y = 1$) et supérieure ($z = 1$), tandis que les déplacements sont pris nuls sur les faces arrière ($u_x\big|_{x=0} = 0$), latérale gauche ($u_y\big|_{y=0} = 0$) et inférieure ($u_z\big|_{z=0} = 0$).
2) Une fois l'état homogène obtenu, les déplacements sont maintenus bloqués sur les faces arrière, latérale gauche et inférieure et la pression de confinement est toujours imposée sur les faces avant et latérale droite. Un déplacement est imposé sur la face supérieure ($u_z(t)$) de façon à obtenir une déformation ε_{zz} égale à –25% à partir du début de la deuxième phase (à t=2). L'incrément de déformation est pris constant : $\Delta\varepsilon_{zz} = -2.5E-4$ pour les modélisations A et B, et $\Delta\varepsilon_{zz} = -3.33E-4$ pour la modélisation C.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Calcul de solution

La valeur de la contrainte principale majeure peut être calculée au point de rupture (γ^{rup}) et à la résistance résiduelle (γ^{res}) à partir de l'expression du déviateur de contrainte :

$$\left|\sigma_1-\sigma_3\right|^{rup}=\sqrt{(S\sigma_c^2)^{rup}-\sigma_3(m\sigma_c)^{rup}}$$

$$\left|\sigma_1-\sigma_3\right|^{res}=\sqrt{(S\sigma_c^2)^{res}-\sigma_3(m\sigma_c)^{res}}-b^{res}\left(1-\frac{\sigma_3}{\sigma_3^{b-d}}\right)$$

$$\text{avec } \sigma_3^{b-d}=\frac{-(m\sigma_c)^{rup}-\sqrt{((m\sigma_c)^{rup})^2+4(1-\alpha)^2(S\sigma_c^2)^{rup}}}{2(1-\alpha)^2} \text{ et } b^{res}=\beta-\sqrt{(S\sigma_c^2)^{rup}}$$

2.2 Résultats de référence

Contraintes $\sigma_{xx}(\sigma_3)$, $\sigma_{yy}(\sigma_1)$ et $\sigma_{zz}(\sigma_3)$ au point D .

Déplacements $\varepsilon_{xx}(\varepsilon_3)$ et $\varepsilon_{zz}(\varepsilon_1)$ au point D .

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D
Découpage : $1\mathrm{m}$ en hauteur, $1\mathrm{m}$ en largeur
Chargement de la phase 1 : $\sigma^0_{xx} = \sigma^0_{yy} = \sigma^0_{zz} = -5\ \mathrm{MPa}$ (pression de confinement)
Conditions aux limites : $u_x|_{x=0} = u_y|_{y=0} = u_z|_{z=0} = 0$

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20
Nombre de mailles et types : 6 QUAD8 et 1 HEXA20

3.3 Grandeurs testées et résultats

Rupture :

Valeur de référence : $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup}_{ref} = 30.0219$

Valeur du *Code_Aster* : $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 29.7520$ (numéro d'ordre : 43)

Ecart relatif réf - *Code_Aster* : 0.90 %

Résistance résiduelle :

Valeur de référence : $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup}_{ref} = 15.7215$

Valeur du *Code_Aster* : $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 15.7215$ (numéro d'ordre : 65)

Localisation	Numéro d'ordre	Contrainte (MPa)	*Code_Aster*
Point D	12	σ_{xx}	-5.00
	40	σ_{xx}	-5.00
	12	σ_{yy}	-5.00
	40	σ_{yy}	-5.00
	12	σ_{zz}	-18.5
	16	σ_{zz}	-22.4982
	30	σ_{zz}	-29.0442
	43	σ_{zz}	**-34.7520**
	45	σ_{zz}	-31.3756
	50	σ_{zz}	-24.4274
	55	σ_{zz}	-21.6325
	65	σ_{zz}	**-20.7215**

Localisation	Numéro d'ordre	Déformation	*Code_Aster*
Point D	12	ε_{xx}	0.9 E-3

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

16	ε_{xx}	1.22296 E-3
30	ε_{xx}	2.82301 E-3
43	ε_{xx}	4.59944 E-3
45	ε_{xx}	5.39287 E-3
50	ε_{xx}	7.41788 E-3
55	ε_{xx}	9.07385 E-3
65	ε_{xx}	11.9257 E-3
12	ε_{zz}	-3 E-3
65	ε_{zz}	-16.25 E-3

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D
Découpage : $1\mathrm{m}$ en hauteur, $1\mathrm{m}$ en largeur
Chargement de la phase 1 : $\sigma^0_{xx} = \sigma^0_{yy} = \sigma^0_{zz} = -12\ \mathrm{MPa}$ (pression de confinement)
Conditions aux limites : $u_x|_{x=0} = u_y|_{y=0} = u_z|_{z=0} = 0$

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20
Nombre de mailles et types : 6 QUAD8 et 1 HEXA20

4.3 Grandeurs testées et résultats

Rupture :

Valeur de référence : $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup}_{ref} = 38.5690$

Valeur du *Code_Aster* : $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 38.4447$ (numéro d'ordre : 51)

Ecart réf - *Code_Aster* : 0.32 %

Résistance résiduelle :

Valeur de référence : $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup}_{ref} = 30.8023$

Valeur du *Code_Aster* : $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 30.8023$ (numéro d'ordre : 80)

Localisation	Numéro d'ordre	Contrainte (MPa)	*Code_Aster*
Point D	16	σ_{xx}	-12.00
	50	σ_{xx}	-12.00
	16	σ_{yy}	-12.00
	50	σ_{yy}	-12.00
	16	σ_{zz}	-30
	20	σ_{zz}	-33.2264
	40	σ_{zz}	-44.5889
	51	σ_{zz}	**-50.4447**
	55	σ_{zz}	-48.0512
	60	σ_{zz}	-45.5579
	70	σ_{zz}	-43.0472
	80	σ_{zz}	**-42.8023**

Localisation	Numéro d'ordre	Déformation	*Code_Aster*
Point D	16	ε_{xx}	1.2 E-3

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

20	ε_{xx}	1.56091 E-3
40	ε_{xx}	3.78317 E-3
51	ε_{xx}	5.22869 E-3
55	ε_{xx}	6.32002 E-3
60	ε_{xx}	7.74068 E-3
70	ε_{xx}	10.5716 E-3
80	ε_{xx}	13.3372 E-3
16	ε_{zz}	-4 E-3
80	ε_{zz}	-2E-2

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D
Découpage : $1\mathrm{m}$ en hauteur, $1\mathrm{m}$ en largeur
Chargement de la phase 1 : $\sigma_{xx}^0 = \sigma_{yy}^0 = \sigma_{zz}^0 = -25\ \mathrm{MPa}$ (pression de confinement)
Conditions aux limites : $u_x\big|_{x=0} = u_y\big|_{y=0} = u_z\big|_{z=0} = 0$

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20
Nombre de mailles et types : 6 QUAD8 et 1 HEXA20

5.3 Grandeurs testées et résultats

Rupture :

Valeur de référence : $\left|\sigma_1 - \sigma_3\right|_{ref}^{rup} = 50.7574$

Valeur du *Code_Aster* : $\left|\sigma_1 - \sigma_3\right|^{rup} = 50.3064$ (numéro d'ordre : 46)

Ecart réf - *Code_Aster* : 0.89 %

Résistance résiduelle :

Valeur de référence : $\left|\sigma_1 - \sigma_3\right|_{ref}^{rup} = 55.1249$

Valeur du *Code_Aster* : $\left|\sigma_1 - \sigma_3\right|^{rup} = 55.1249$ (numéro d'ordre : 81)

Localisation	Numéro d'ordre	Contrainte (MPa)	*Code_Aster*
Point D	18	σ_{xx}	- 25.00
	81	σ_{xx}	- 25.00
	18	σ_{yy}	- 25.00
	81	σ_{yy}	- 25.00
	18	σ_{zz}	-50.8398
	24	σ_{zz}	-56.4340
	36	σ_{zz}	-66.9436
	46	σ_{zz}	**-75.3064**
	54	σ_{zz}	-77.6467
	66	σ_{zz}	-79.7633
	81	σ_{zz}	**-80.1249**

Localisation	Numéro d'ordre	Déformation	*Code_Aster*
Point D	18	ε_{xx}	1.85408 E-3
	24	ε_{xx}	2.63445 E-3

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

36	ε_{xx}	4.35497 E-3
46	ε_{xx}	5.98034 E-3
54	ε_{xx}	7.90516 E-3
66	ε_{xx}	11.3535 E-3
81	ε_{xx}	16.7102 E-3
18	ε_{zz}	-6 E-3
36	ε_{zz}	-12 E-3
81	ε_{zz}	-27 E-3

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus montrent un accord de la contrainte σ_1 à la rupture et à la résistance résiduelle entre les valeurs calculées et celles obtenues avec *Code_Aster*.

Ce cas test est un test de non-régression développé pour valider le modèle de Hoek-Brown modifié.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)