Loi de comportement des milieux poreux : GONF_ELAS

Résumé :

Le modèle de GONF_ELAS est un modèle initialement proposé par D. Hoxan et F. Colin [1] pour décrire le comportement gonflant de certains types d'argile. Il s'agit d'un modèle élastique non linéaire dépendant de la succion (ce modèle doit donc être utilisé dans un environnement THHM ou HHM uniquement). Ce modèle est inspiré du modèle de Barcelone BBM (cf. R7.01.17). Il est particulièrement adapté à l'étude du comportement des bouchons d'argile compactée (bentonite).

Table des Matières

1 Présentation du modèle et notations

Ce modèle est une loi de comportement en mécanique des roches permettant de décrire le comportement des matériaux de type "argile gonflante" (bentonite). Il s'agit d'un modèle élastique non-linéaire reliant la contrainte nette à la pression de gonflement qui elle même dépend de la succion (ou pression capillaire). Il ne peut être utilisé que dans le cadre des comportements `THHM` et `HHM`.
Ce modèle repose sur la relation suivante :

$$d\tilde{\sigma} = K_s(Pc)\, d\varepsilon_V + b\left(1+\frac{Pc}{A}\right) e^{-\beta_m\left(\frac{s}{A}\right)^2} dPc \quad (1)$$

avec $\tilde{\sigma}$: contrainte nette ou contrainte effective. Ici on choisit la contrainte nette (cf. section 2.1).

Dans la version du modèle disponible ici, on ne tient pas compte de la non linéarité de $K_s(Pc)$ ni de sa dépendance par rapport à la succion. Au final, on a simplement $K_s(Pc) = K_0$.

Avec les notations suivantes :

- K_0 est le module d'incompressibilité du matériau
- b est le coefficient de Biot
- A est un paramètre homogène à une pression
- β_m est un paramètre sans dimension
- Pc est la pression capillaire

On définit également ici la notion de pression de gonflement P_{gf} que l'on utilisera par la suite.

2 Mise en œuvre du modèle

2.1 Contraintes effectives et contraintes nettes

On rappelle que la formulation THM réside sur la distinction entre contrainte effective σ' et contrainte totale σ, tel que :

$$d\sigma = d\sigma' + d\pi \tag{2}$$

avec π la contrainte hydraulique telle que $d\pi = -b(dPg - S\,dPc)$
où S est la saturation de liquide et Pg la pression de gaz.

Dans le cas d'une formulation en contrainte nette, on a :

$$d\sigma = d\tilde{\sigma} + d\pi \tag{3}$$

avec π la contrainte hydraulique qui est alors définie telle que $d\pi = -b(dPg)$.

C'est cette formulation qui est retenue dans le cas de la loi `GONF_ELAS` ce qui diffère par rapport aux autres lois de comportement disponibles en THM non saturé.

2.2 Programmation de la loi

Dans code_aster, la loi est programmée de manière incrémentale sur la contrainte moyenne (appliquée aux contraintes nette) ce qui donne :

$$\Delta\tilde{\sigma}_m = K_0 \Delta\varepsilon_V + b\,\Delta PG \tag{4}$$

Avec :

$$\tilde{\sigma}_m = \frac{1}{3} Tr(\tilde{\sigma}) \tag{5}$$

et en introduisant la fonction pression de gonflement en saturé et non saturé :

$$PG(Pc) = \begin{cases} A\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\beta_m}}\right) Erf\left(\frac{Pc}{A}\sqrt{\beta_m}\right) + \frac{1}{2\beta_m}\left(1 - e^{-\beta_m\left(\frac{Pc}{A}\right)^2}\right) & \text{si } S<1 \\ Pc \text{ si } S=1 \end{cases} \tag{6}$$

avec $Erf(x) = \int_0^x e^{-\chi^2} d\chi$.

2.3 Données matériau et identification

Les paramètres matériaux spécifiques à la loi et à renseigner dans `DEFI_MATERIAU` sont :

- `BETAM` : p aramètre matériau sans dimension correspondant au β_m de la loi ci-dessus.
- `PREF` : paramètre homogène à une pression correspondant au A de la loi ci-dessus.

L'identification de β_m se fait en recherchant la pression de gonflement. Soit $P_{gf}(Pc_0)$ la pression de gonflement trouvée par le modèle quand on re-sature un échantillon dans un essai à déformation bloquée et en partant d'une succion Pc_0. On rappelle qu'à saturation, $Pc=0$, ce qui implique que :

$$P_{gf}(Pc_0) = \int_{Pc_0}^{0} b\left(1 + \frac{Pc}{A}\right) e^{-\beta_m\left(\frac{s}{A}\right)^2} dPc \tag{7}$$

On obtient après intégration :

$$\frac{P_{gf}(Pc_0)}{A}=\frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\beta_m}}Erf\left(\frac{Pc_0}{A}\sqrt{\beta_m}\right)+\frac{1}{2\beta_m}\left(1-e^{-\beta_m\left(\frac{Pc_0}{A}\right)^2}\right) \tag{8}$$

La pression de gonflement attendue correspond au chemin de resaturation entre l'état sec ($P_c=\infty$) et l'état saturé soit $P_{gf}=P_{gf}(\infty)$. On sait que $Erf(\infty)=1$ et donc : $\frac{P_{gf}}{A}=\frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\beta_m}}+\frac{1}{2\beta_m}$

On en déduit une identification du coefficient β_m .

2.4 Variables internes en sortie

Il n'y a pas de variables internes en sortie.

3 Bibliographie

1) Gerard P., Charlier R., Barnichon J.D., Su K., Shao J-F, Duveau G., Giot R., Chavant C., Collin F., Numerical Modelling of Coupled Mechanics and Gas Transfer around Radioactive Waste in long term storage. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Sofia, 2008, vol. 38, N 1-2, pp.25-44 .

4 Vérification

La loi de comportement de GONF_ELAS est vérifiée par les cas tests suivants :

WTNV136	Modélisation 3D du gonflement d'une argile	[V7.31.136]
WTNP119	Modélisation plane du gonflement d'une argile	[V7.32.119]
WTNA110	Modélisation axisymétrique du gonflement d'une argile	[V7.33.110]