

3

Arrachement d'une inclusion de renforcement

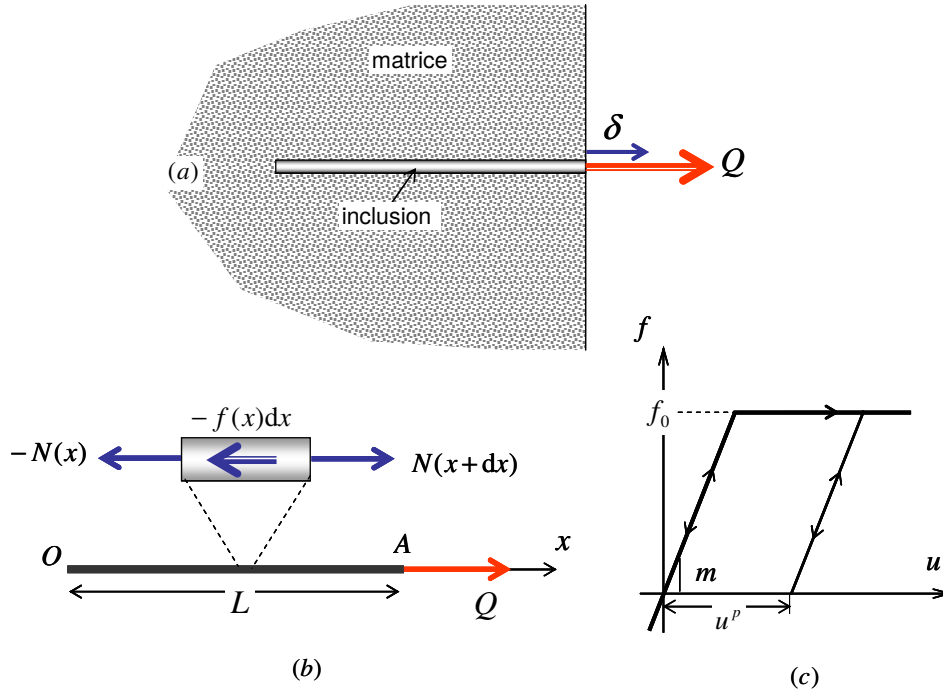


Figure 1

On se propose de modéliser l'essai d'arrachement ("pull-out" test) d'une inclusion de renforcement (fibre, barre d'acier, nappe géotextile,...) placée au sein d'une matrice (béton, sol, roche,...), comme indiqué sur la figure 1(a) ci-dessus. On adopte dans un premier temps une modélisation simplifiée, représentée sur la figure 1(b), selon laquelle l'inclusion est schématisée par un élément unidimensionnel de longueur L , placé selon un axe Ox , dont l'interaction avec la matrice environnante est décrite par une densité linéique d'efforts $-f(x)\underline{e}_x$ exercée par la matrice sur l'inclusion. On supposera que l'inclusion est libre d'efforts à son extrémité gauche $x = 0$.

Plan de travail

1. Écrire l'équation d'équilibre reliant l'effort axial $N(x)$ dans l'inclusion à la densité d'efforts $f(x)$.

2. En prenant en compte un comportement élastique linéaire uniaxial pour l'inclusion et un comportement *élastique-parfaitement plastique* pour l'effort d'interaction $f(x)$ vis-à-vis du déplacement $u(x)\underline{e}_x$ de l'inclusion (cf. figure 1(c)), effectuer la résolution du problème en phase élastique et identifier la limite d'élasticité en fonction du chargement $Q_{\underline{e}_x}$ appliqué à l'extrémité et du déplacement $\delta = u(L)$ associé. On introduira une longueur caractéristique l pour ce problème.
3. Poursuivre la résolution du problème en phase élastoplastique (on introduira une zone plastique de taille αL , le reste de l'inclusion demeurant élastique) et tracer la courbe $Q - \delta$. Déterminer la valeur de la charge limite Q^+ en fonction des paramètres du problème.
4. Effectuer la modélisation du problème sous OptumG2. On modélisera la matrice environnante (non-pesante) par un comportement de Tresca ($E = 10$ MPa, $\nu = 0.25$, $C = 10$ kPa) et l'inclusion par une nappe *Geogrid* de raideur axiale par unité de longueur égale à 10^4 kN/m et de limite d'élasticité très grande (par exemple $n_p = 10^6$ kN/m). Comparer les résultats numériques à la solution analytique en identifiant les paramètres d'interaction (m, f_0). On discutera également de l'influence des dimensions de la matrice environnante sur les résultats.
5. Proposer une modélisation analytique du mécanisme de ruine de l'interface par une approche cinématique du calcul à la rupture.
6. On étudie à présent le cas où la matrice obéit au critère de Mohr-Coulomb ($C = 10$ kPa, $\phi = 30^\circ$). Montrer que l'on obtient la même charge limite. Que dire du mécanisme de ruine dans ce cas et proposer une nouvelle approche cinématique décrivant l'arrachement de l'inclusion.
7. On se place enfin dans le cas où l'inclusion admet également une limite d'élasticité $n_p = 45$ kN/m. Etudier l'influence de la longueur de l'inclusion sur la nature du mécanisme de ruine. Proposer une définition de la *longueur d'ancrage* de l'inclusion.