

Proposition de thèse de doctorat

Début : 2017-2018

Titre de la thèse : Modélisation multi-échelles de l'effet de l'écrtage sur le comportement mécanique des sols grossiers

Laboratoire : GeM - Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique

Equipe : IEG – Interactions Eau-Géomatériaux

Localisation de la thèse : GeM Saint-Nazaire

Directeur de thèse

Nom et prénom : Didier MAROT

Tél : 02 72 64 87 32

Mail : didier.marot@univ-nantes.fr

Co-Encadrants

Nom et prénom : Ngoc-Son NGUYEN

Tél : 02 40 17 86 41

Mail : ngocson.nguyen@univ-nantes.fr

Description du sujet

Les sols grossiers sont caractérisés par la présence de grains très gros. La distribution granulométrique d'un sol grossier peut être très étalée : le diamètre des grains peut varier de quelques micromètres jusqu'à quelques décimètres. Ce type de sols constitue souvent les ouvrages en terre tels que les remblais, les digues et les barrages. La détermination de leurs caractéristiques mécaniques est difficile et nécessite des dispositifs expérimentaux de grande dimension, dont l'utilisation s'avère souvent difficile et coûteuse. Une cellule triaxiale de diamètre 20 cm a été développée par l'équipe IEG de l'Institut GeM pour tester des sols grossiers carottés dans des digues gérées par l'EDF. Ces sols ont aussi été écrêtés (les éléments grossiers sont enlevés) pour pouvoir réaliser des essais triaxiaux sur une cellule plus petite de 5 cm de diamètre. La comparaison des résultats obtenus avec les sols grossiers et les sols écrêtés a montré que l'écrtage des sols grossiers peut conduire, en fonction du sol testé, à une surestimation ou à l'inverse une sous-estimation de leur résistance mécanique [1]. Quelques études dans la littérature ont aussi abouti à ce type de conclusions opposées [2]. Même avec la cellule triaxiale de grande dimension, certains sols très grossiers doivent être écrêtés pour respecter les normes expérimentales. L'écrtage semble donc inévitable pour l'évaluation des caractéristiques mécaniques d'un sol grossier en laboratoire et il est nécessaire de maîtriser son effet sur les caractéristiques mécaniques. Dans une telle étude, plusieurs paramètres doivent être pris en compte : la distribution granulométrique, la forme de grains fins et grossiers, le pourcentage de la fraction grossière, la densité et la minéralogie des grains. Une étude numérique préalable permettra d'identifier les paramètres prépondérants à prendre en compte. Une campagne d'essais sera ensuite réalisée dont l'interprétation sera complétée par une modélisation multi-échelles afin d'accéder à toutes les informations à l'échelle locale. L'objectif ultime de cette étude résidera dans l'évaluation des caractéristiques mécaniques d'un sol grossier à partir de celles du sol écrêté.

Stratégie de modélisation à trois échelles :

Dans cette thèse, nous souhaitons développer des modèles numériques et analytiques qui nous permettront d'analyser l'effet de l'écrtage sur le comportement mécanique des sols grossiers et d'évaluer les caractéristiques de résistance d'un sol grossier à partir de celles du sol écrêté. Un sol grossier peut être modélisé comme un mélange de deux fractions : une fraction de particules fines et une fraction de particules grossières. La fraction fine est celle retenue après l'écrtage. La stratégie de modélisation s'appuie donc sur une description du sol en trois échelles spatiales :

1. l'échelle macroscopique, à laquelle le sol grossier est décrit comme un milieu homogène continu en vue d'évaluer la résistance de la structure ;
2. l'échelle mésoscopique, à laquelle on distingue les grains grossiers mais où les particules fines - correspondantes au sol écrêté - sont décrites comme un milieu homogène continu ;

3. l'échelle microscopique, à laquelle les particules fines et la porosité sont distinguées.

La modélisation du comportement mécanique macroscopique résulte alors de deux étapes d'homogénéisation. Le comportement de la fraction fine provient de l'homogénéisation d'un ensemble de grains fins supposés rigides avec une loi frottante à l'interface entre grains. Le comportement du sol grossier résulte ensuite de l'homogénéisation d'un ensemble de grains grossiers rigides, plongés dans une matrice constituée de la fraction fine dont le comportement est issu de la première étape d'homogénéisation. L'interaction entre les différents éléments à l'échelle mésoscopique est modélisée par des lois d'interfaces frottantes.

Deux méthodes d'homogénéisation complémentaires seront mises en œuvre : la méthode des éléments discrets (DEM), numérique et la méthode micro-mécanique, analytique. La modélisation sera alimentée par des essais expérimentaux réalisés sur le sol écrêté et sur le sol grossier avec la cellule triaxiale de grande dimension disponible au laboratoire. Des sols modèles composés de billes de verre et des sols naturels peuvent être testés.

Modèle numérique basé sur la méthode DEM:

La méthode DEM consiste à modéliser un matériau granulaire comme un assemblage des particules distinctes qui interagissent entre elles via des contacts frottants [3]. Des études dans la littérature ont montré que cette méthode permet de prédire le comportement mécanique d'un sol granulaire dont la distribution granulométrique est serrée [3]. Quant au sol grossier, une étude numérique préliminaire menée au sein de notre équipe a montré que le pourcentage des particules grossières a un effet important sur son comportement mécanique [4]. Cependant, cette modélisation rencontre aussi une limitation majeure. En effet, pour une distribution granulométrique très étalée comme celle d'un sol grossier, le nombre de particules fines générées par la méthode DEM est très grand, ce qui conduit à un temps de calcul très long. Pour contourner cette limitation, une nouvelle approche pseudo-discrète sera développée pour le passage de l'échelle mésoscopique à l'échelle macroscopique dans la description en trois échelles proposée. Pour cela, la fraction grossière est explicitement modélisée par la méthode DEM, tandis que la fraction fine qui entoure la fraction grossière est considérée comme une matrice continue dont le comportement mécanique est issu de la première étape d'homogénéisation mentionnée ci-dessus. Ce modèle présentera l'avantage de modéliser finement la fraction grossière par la méthode DEM. Pourtant ce modèle assez coûteux en temps de calcul, ne pourra être appliqué qu'à l'échelle de petits échantillons.

Modèle analytique basé sur une approche micro-mécanique:

Une approche micro-mécanique analytique est utilisée en complément pour obtenir un modèle approché directement utilisable par les ingénieurs pour évaluer la stabilité mécanique à l'échelle d'un ouvrage. Dans cette approche, le sol écrêté est décrit à l'échelle microscopique par un assemblage auto-cohérent de grains rigides avec interfaces frottantes de type Mohr-Coulomb et de pores [5]. Le sol grossier est décrit à l'échelle mésoscopique comme un assemblage auto-cohérent ou matrice-inclusions de grains grossiers avec interfaces frottantes et de sol écrêté homogénéisé [6,7]. L'homogénéisation des propriétés de résistance se base sur des techniques d'homogénéisation non-linéaire analytiques comme la méthode sécante modifiée et les schémas de type Eshelby généralisés.

Références

- [1] D. Marot et al. *Résultats d'essais à l'érodimètre triaxial de grandes dimensions sur des carottes d'échantillons de sol graveleux*. Rapport intermédiaire du projet EDF CIH - GeM IEG - Capacités. 27 décembre 2016, Saint-Nazaire.
- [2] L.S. Pedro. *De l'étude du comportement mécanique de sols hétérogènes modèles à son application au cas des sols naturels*. Thèse de doctorat, Ecoles des Ponts ParisTech, 2004.
- [3] N. Belheine, J.-P. Plassiard, F.-V. Donze, F. Darve, A. Seridi. *Numerical simulation of drained triaxial test using 3D discrete element modeling*. Computers and Geotechnics 36, pp. 320-331, 2008.
- [4] H. Taha, N.S. Nguyen, D. Marot, A. Hijazi, K. Abou-Saleh. *Micro-mechanical investigation of the effect of fine content on mechanical behavior of gap graded granular materials using DEM*. Communication acceptée pour la conférence internationale Powders and Grains 2017.
- [5] Z. He, L. Dormieux, E. Lemarchand, D. Kondo. *Cohesive Mohr-Coulomb interface effects on the strength criterion of materials with granular-based microstructure*. Eur. J. Mechanics A/Solids 42, 430-440, 2013.
- [6] J.F. Barthélémy, L. Dormieux. *A micromechanical approach to the strength criterion of Drucker-Prager materials reinforced by rigid inclusions*. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech, volume 28, pp. 565-582, 2004.
- [7] F. Bignonnet, L. Dormieux, E. Lemarchand. *Strength of a matrix with elliptic criterion reinforced by rigid inclusions with imperfect interfaces*. European Journal of Mechanics A/Solids, 52, pp. 95-106, 2015.

--

Compétences requises :

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Solides connaissances en mécanique des milieux continus- Compétences en modélisation et en méthode numérique- Compétences en programmation- Capacité à travailler en équipe |
|--|

--

Commentaires Supplémentaires

Etude en relation avec le projet de collaboration scientifique entre EDF-CIH et GeM-IEG Financement prévu : Indemnité : Oui (pour les étudiants non déjà boursiers) Montant net mensuel envisagé :
--