

THESE DE DOCTORAT DE

L'ÉCOLE CENTRALE DE NANTES
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 602
Sciences pour l'Ingénieur
Spécialité : « (voir liste des spécialités) »

Par

Huan WANG

Viscous et second gradient techniques de régularisation pour la description du comportement de géomatériaux

Thèse présentée et soutenue à NANTES, le 13/12/2019
Unité de recherche : Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM)

Rapporteurs avant soutenance :

Pierre BESUELLE Chargé de recherche, CNRS, Université Grenoble Alpes
Angela MADEO Professeur des Universités, INSA Lyon

Composition du Jury :

Président :		
Examineurs :	Frédéric COLLIN	Professeur, University of Liège
	Jacopo CIAMBELLA	Assistant Professor, University of Rome
Dir. de thèse :	Panagiotis KOTRONIS	Professeur, Ecole Centrale de Nantes
Co-dir. de thèse :	Giulio SCIARRA	Professeur, Ecole Centrale de Nantes

Titre : Viscous and second gradient techniques de régularisation pour la description du comportement de géomatériaux

Mots clés : régularisation, localisation des déformations, viscoplasticité, second gradient

Résumé : Les géomatériaux présentent des comportements plus ou moins dépendants du temps, car leur microstructure évolue. Ce processus peut varier entre quelques minutes (sable) et plusieurs jours voire plusieurs années (sols mous). Pour décrire un comportement dépendant du temps, des modèles viscoplastiques, dépendant de la vitesse, sont couramment utilisés. Autre qu'une description intrinsèque du comportement visqueux, la dépendance à la vitesse de la loi constitutive est également présentée quelques fois dans la littérature comme une technique de régularisation. On étudie dans cette thèse la possibilité d'utiliser une loi de comportement viscoplastique pour décrire le comportement quasi-statique des sols mous dépendant du temps et la localisation des déformations. Des études analytiques et numériques sont présentées et plusieurs conclusions sont trouvées sur la base du critère de Hill, du critère de Rice, d'un algorithme de

de perturbation numérique et de la théorie classique de perturbation linéaire. Il s'avère que l'utilisation d'un modèle viscoplastique pour des chargements quasi-statiques ne permet pas de régulariser le problème. Afin de proposer une stratégie de modélisation performante, les modèles viscoplastiques sont ensuite intégrés dans un milieu à microstructure et plus spécifiquement dans un modèle second gradient. Des problèmes concernant l'unicité, la bifurcation et la dépendance au maillage sont examinés et une analyse classique de perturbation linéaire est présentée. La combinaison d'un modèle second gradient avec des lois viscoplastiques permet de régulariser le problème et de prendre en compte l'influence de la vitesse de la sollicitation. Afin de démontrer la performance de l'approche dans un cas réel, une fondation superficielle est analysée en mettant l'accent sur sa capacité portante et sa défaillance progressive.

Title : Viscous and second gradient regularization techniques for the description of the behavior of geomaterials

Keywords : regularization, strain localization, viscoplasticity, second gradient

Abstract: Geomaterials may exhibit time-dependent behaviors as their microstructures evolve. This process may vary from a few minutes (sand) to several days or even years (soft soils). To describe this time-dependent behavior, viscoplastic models are commonly used. Other than providing an intrinsic description of the viscous behavior, rate-dependent constitutive laws are sometimes presented in the literature as a regularization technique. In this thesis, we study the possibility to use viscoplastic constitutive laws in quasi-static problems to describe the time-dependent response of soft soils and strain localization. Analytical and numerical studies are presented and several conclusions are found based on the Hill's criterion, the Rice's criterion, a numerical perturbation algorithm and classical linear

perturbation theory. It turns out that the use of viscoplastic models in quasi-static problems is not able to regularize the problem. Viscoplastic models are then integrated in a higher order continuum, the second gradient model. Problems concerning the uniqueness, bifurcation and mesh dependency are examined and a classical linear perturbation analysis is presented. The combination of a second gradient model with viscoplastic laws makes possible both to regularize the problem and to take into account rate effects. Finally, the bearing capacity and progressive failure of a shallow foundation are analyzed in order to demonstrate the performance of the approach on a real case study.