

MODELE NUMERIQUE DU COMPORTEMENT D'UN SOL LIQUEFIABLE SOUS SOLLICITATIONS DYNAMIQUES

THESE No 907 (1991)

PRESENTÉE AU DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES TECHNIQUES

PAR

ERIC MARCEL DAVALLE

Ingénieur civil diplômé EPFL
de nationalité française

acceptée sur proposition du jury :

Dr Th. Zimmermann, rapporteur
Prof. J.-P. Bardet, corapporteur
Prof. F. Descoeurdes, corapporteur
Prof. R. Lafitte, corapporteur
Dr J. Wolf, corapporteur

Lausanne, EPFL
1991

RESUME

Une mission essentielle de l'ingénieur civil est d'assurer la fiabilité des ouvrages qu'il construit. Cet impératif est surtout vrai quand une construction est réalisée dans des zones de grande sensibilité sismique. Sur un tel site, le comportement du sol de fondation ou de l'ouvrage, si celui-ci est réalisé avec du matériau d'excavation (digues, barrages), doit être minutieusement étudié. En effet, une prédominance de sables lâches dans la composition du sol ou dans le corps d'un ouvrage en terre peut conduire un tel milieu saturé d'eau, sous l'action de sollicitations dynamiques, à se déstabiliser. Dans ce cas, on observe une perte de résistance locale ou généralisée dont l'origine est l'apparition du phénomène de liquéfaction. Cela peut conduire à des ruptures de pente, à des glissements de terrain, où encore à une perte de portance du sol de fondation sous un bâtiment.

L'objectif de ce travail est de développer un modèle numérique capable de simuler un sol sableux saturé en conditions drainée et non drainée et de reproduire la liquéfaction, afin, à plus long terme, d'en estimer et d'en limiter les risques. Ce modèle est basé sur les hypothèses et les équations régissant un milieu continu: Le sol étant considéré comme un milieu continu particulier à deux phases (solide et liquide) qui interagissent. La loi constitutive de la phase solide adoptée repose sur la théorie de l'élastoplasticité incrémentale construite autour d'un modèle multisurface de type Drucker-Prager et d'une surface de fermeture de type "Cap". La loi constitutive de la phase liquide est admise incompressible par pas de temps d'analyse. La loi d'écoulement de Darcy généralisée est utilisée pour exprimer l'interaction entre les deux phases. Enfin, la méthode des éléments finis est utilisée pour permettre la résolution de tout problème de valeurs aux contours et une méthode de différences finies donne une solution au problème dynamique transitoire. Le modèle numérique a été conçu à partir d'idées et de concepts éprouvés, en particulier avec des algorithmes de résolution assurant une solide stabilité numérique (celui du point de contrainte pour la loi constitutive, celui de Newmark et Hughes pour la solution du problème transitoire et de l'approche B pour résoudre les difficultés numériques liées à la tendance incompressible du milieu).

Le modèle actuel permet la modélisation du comportement non-linéaire (élastoplastique) d'un sol sableux saturé ou non, en conditions de drainage permettant ou pas un écoulement. Il est capable de mettre en évidence le phénomène de liquéfaction sous charge cyclique, observable par un essai en laboratoire sur un échantillon de sable lâche non drainé.

ABSTRACT

The civil engineer must be sure that any structure he builds is reliable, specially for buildings realized on high seismic areas. On such sites, the behavior of a soil foundation or of structure, made of excavation materials (earth dams), has to be carefully studied. As a matter of fact, when loose sands predominate in the soil or in the core of an earth construction, under the action of dynamic loading, a loose of stability may appear in such a saturated medium. In this case, it has been observed a local or generalized loose of strength of the soil when the liquefaction phenomena takes place. The consequences could be a slope instability, an earth slidings or even a loose of strength of the soil foundation under any building.

The aim of this work is to develop a numerical model in order to simulate liquefaction. This phenomena occurs in a saturated sandy soil in drained or undrained conditions. This model is based on equations of a continuous medium, considered as a two-phase medium (solid and liquid) which interacts. The constitutive law of the solid phase relies upon the theory of the incremental elastoplasticity made of a combination of Drucker-Prager multisurface and a "Cap" surface. The constitutive law of the liquid phase is admitted incompressible during each time step of analysis. The Darcy's law is used to express the interaction between both phases. Finally, the solution of any boundary problem is given by the finite element method. The numerical model is made of improved ideas and concepts, based on numerical performing algorithms (stress point algorithm for the constitutive law of the solid phase, Newmark and Hughes's algorithms for the finite difference solution solving the coupled dynamic equations of motion and the B approach to solve any numerical difficulties linked to the incompressibility of the medium).

The non-linear behavior (elastoplastic) of drained and undrained soils can be solved by the present model. It can also figure out the liquefaction phenomena under cyclic loads observed on a laboratory sample of sandy undrained soil.