

Résumé

Les systèmes d’ancrage chevillé sont utilisés pour assurer la fixation de nombreuses structures externes et d’Éléments Importants pour la Protection dans les installations nucléaires françaises. Ces systèmes servent à transmettre les efforts extérieurs de l’élément fixé vers la structure porteuse. L’évaluation du comportement des ancrages existants représente un enjeu majeur pour la sûreté, notamment en cas de séisme.

Généralement, l’étude du comportement des ancrages dans le béton se fait par des campagnes expérimentales. Cependant, celles-ci sont coûteuses et limitées par le nombre d’essais réalisés. De plus, elles ne sont pas réalisables pour requalifier les ancrages déjà installés et en arrêt de production. C’est pourquoi la simulation numérique est récemment devenue de plus en plus utile dans le domaine des fixations. Dans ce contexte, une modélisation numérique à deux échelles est proposée. La première modélisation est à l’échelle de l’ancrage où l’utilisation d’un modèle de type particulaire-lattice, nommé DEAP, est proposée pour mieux comprendre les mécanismes de rupture. Ce type de modèle permet une description fine et détaillée du comportement de l’interface entre l’ancrage et le béton ainsi que de la fissuration de ce dernier. Ensuite, une modélisation à l’échelle de la structure est réalisée. Pour ce faire, un modèle simplifié en variables généralisées est formulé et identifié à partir des résultats expérimentaux et des résultats obtenus par DEAP. Ce type de modèle macroscopique permet de simplifier la représentation du comportement non-linéaire de l’ancrage et de réduire conséquemment le temps de calcul, ce qui permet de réaliser un nombre important de calculs pour les analyses de vulnérabilité des ouvrages de génie civil sous chargement sismique.

Au cours de ce travail de thèse, plusieurs contributions ont été réalisées notamment sous forme de développements numériques. Premièrement, une méthode de génération d’un maillage d’éléments discrets pour des géométries complexes et bien adaptée au cas de l’ancrage est proposée et développée. Deuxièmement, une nouvelle stratégie simplifiée pour la détection du contact entre l’acier et le béton en 2D ainsi qu’en 3D est mise en œuvre pour améliorer le temps de calcul. Tous ces développements ajoutés au modèle DEAP ont permis de réaliser des modélisations bidimensionnelles et tridimensionnelles d’un essai d’arrachement à l’échelle de l’ancrage. Les résultats ont permis de valider la capacité d’un modèle particulaire-lattice à reproduire le faciès de fissuration d’un test d’arrachement d’ancrage et à déterminer la force maximale de l’ancrage avant la rupture. Ensuite, sur la base des résultats expérimentaux et des simulations discrètes, une loi de comportement en variables généralisées a été formulée et identifiée. Les principaux mécanismes non-linéaires sont pris en compte dans cette loi afin de représenter le comportement réel d’un ancrage présent dans les ouvrages de génie civil. Ce modèle macroscopique simplifié est suffisamment flexible et simple pour être adapté à différents types d’ancrages. Les travaux et les contributions réalisés durant ces trois années de thèse constituent une étape importante pour des études plus approfondies sur différents types

d'ancrages sous différents types d'exigences.

Abstract

Fastening systems are used to secure many external structures and Elements Important for Protection in French nuclear installations. They are designed to transmit the load from the fixed elements to the supporting structure. Nevertheless, the evaluation of the performance of existing fasteners is a major concern because of the safety issues that can arise if they were inappropriately chosen, especially in the case of an earthquake.

Generally, the study of the behavior of anchors in concrete is conducted through experimental campaigns. However, they are costly, time-consuming, and limited by the number of tests performed. Moreover, they are not suitable to re-qualify anchors already installed and in production phase-out. Therefore, numerical simulation has recently become more useful in the field of fasteners to understand non-linear mechanisms. In this context, the proposed scientific approach is based on two complementary modeling approaches to evaluate the behavior of fasteners under seismic loading. The first modeling is done at the fastener scale where a beam-particle model, called DEAP, is used. This type of model allows a fine and detailed description of the behavior of the interface between the anchor and the concrete as well as the cracking of the concrete. At the scale of the structure, a simplified model using generalized variables is formulated and calibrated from the experimental results and the results obtained by DEAP. This type of macroscopic model simplifies the representation of the non-linear behavior of the fasteners and reduces the computational cost of the simulations. Thus, this model enables to perform a large number of calculations for vulnerability analyses of civil engineering structures under seismic loading.

During this thesis, several contributions have been made, notably in the form of numerical developments. First, a new procedure for generating a discrete element mesh and taking into account complex geometries, such as fastening systems, is proposed and developed. Second, a new simplified strategy for contact detection in 2D as well as in 3D is implemented to improve the computing time. All these developments added to DEAP allowed two-dimensional and three-dimensional simulations of a pull-out test at the local scale. The results validated the ability of a discrete beam-particle model to reproduce the concrete cracking patterns caused by a pull-out test and to determine the maximum force of the anchor before failure. Then, based on the experimental results and the discrete element simulations, a simplified model using generalized variables was formulated and identified. Many non-linear mechanisms were considered in this model in order to represent the complete behavior of an anchor present in civil engineering structures. This proposed macroscopic model is flexible and simple enough to be adapted to different types of anchors. The work and contributions made during these three years of thesis constitute an important step for further studies on different types of anchors under various types of loads.