

THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
THESE DE DOCTORAT

Prediction of Chloride Penetration into Saturated
Concrete - Multi-species Approach

OLIVIER TRUC

Department of Building Materials
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sweden 2000

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES
Toulouse, France 2000

Abstract

The cost due to rehabilitation of corroded reinforced concrete structures is a worldwide matter of concern. The mechanisms of reaction-diffusion involved during the transport of chloride ions into saturated concrete, which are initiating the corrosion process, are therefore studied in this thesis. The literature review shows that numerous experimental test methods and models exist today leading on to comprehension and description of chloride ion transport. However, the different parameters obtained empirically are often difficult to compare and some experimental observations remain yet unexplained. Starting from this state of the art, a quite new theory in the civil engineering research domain, called the multi-species approach, is presented. This approach, which makes it possible to account for the interactions between the different species present in the electrolyte solution, has been used to simulate multi-species diffusion and migration in saturated reactive porous media. A new numerical software, called MsDiff, for Multi-species Diffusion, has been developed in order to describe many situations involving chloride ion transport.

From MsDiff, several experimental results found in literature, the significance of which had not been fully understood, could finally be explained.

Then, MsDiff was used to simulate immersion test procedures for various concrete mixtures. The simulations, conducted as a sensitivity study, showed which phenomena had the most significant influence on chloride ion diffusion. Among them, the chloride binding phenomena and the pore solution composition seem to be the most decisive one.

Finally, the simulations clearly demonstrated that it is not reasonable to use an empirically based method to predict chloride penetration. The use of Fick's laws of diffusion for making long term predictions are therefore strongly challenged.

Key words: concrete, chloride, modelling, diffusion, migration, multi-species, corrosion

Résumé

Le coût entraîné par la réhabilitation des ouvrages en béton armé corrodés est une source d'inquiétude mondiale. Les mécanismes de réaction-diffusion impliqués durant le transport des ions chlorure, qui sont à l'origine de la corrosion des armatures, sont donc étudiés dans le cas d'un béton saturé. La littérature nous informe que de nombreuses méthodes expérimentales ainsi que des modèles existent afin de comprendre et de décrire le transport de ces ions. Toutefois, il apparaît que différents paramètres obtenus empiriquement sont souvent difficiles à comparer entre eux et certaines observations expérimentales restent inexplicables. À partir de ce constat, une théorie encore peu utilisée dans le domaine du génie civil, appelée l'approche multi-espèces, est présentée. Cette approche, qui prend en compte les interactions entre les différentes espèces ioniques présentes dans la solution interstitielle du béton, a été utilisée pour modéliser la diffusion et la migration de plusieurs espèces ioniques dans des milieux poreux saturés. Un nouveau modèle numérique, appelé MsDiff, pour Multi-species Diffusion, a été développé afin de simuler diverses situations qui impliquent le transport des ions chlorure.

Grâce à MsDiff, divers résultats expérimentaux trouvés dans la littérature et qui n'étaient pas très bien compris, peuvent maintenant être expliqués.

Ensuite, MsDiff a été utilisé pour simuler des essais d'immersion effectués sur différents bétons. Les simulations montrent, à l'aide d'une étude de sensibilité, quels sont les phénomènes qui ont le plus d'influence sur le transport des ions chlorure. Parmi eux, la fixation des ions par le béton et la composition de la solution interstitielle semblent avoir le plus grand effet.

Enfin, les simulations démontrent clairement qu'il n'est pas raisonnable d'utiliser une méthode empirique pour prédire la vitesse de pénétration des ions chlorure. L'utilisation des lois de Fick pour prédire à long terme est donc fortement remise en cause.

Mots-clés: béton, chlorure, modélisation, diffusion, migration, multi-espèces, corrosion