

Approche colloïdale du retrait des matrices cimentaires

Doctoral Thesis

Author(s):

Beltzung, Françoise

Publication date:

2004

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004830849>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Thèse EPFZ n° 15122

APPROCHE COLLOÏDALE DU RETRAIT DES MATRICES CIMENTAIRES

présentée à

L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZURICH

en vue de l'obtention du
grade de Docteur es sciences

par

FRANÇOISE BELTZUNG

Ingénieure en sciences des matériaux, EPF Lausanne

née le 28.09.1963

originaire de Fislisbach (AG)

acceptée sur proposition

des professeurs	Folker Wittmann	rapporteur
	Karen Scrivener	corapportrice
des adjoints scientifiques	Günter Kahr	corapporteur
	Yves Houst	corapporteur

2004

Résumé

Approche colloïdale du retrait des matrices cimentaires

Le chapitre 1 introduit le retrait cimentaire en soulignant son lien avec l'endommagement et la durabilité des ouvrages en béton armé et en précisant les enjeux économiques de la durabilité. Il expose, sous forme de tableau, le système de classification des retraits qui sera employé tout au long de la présente thèse.

Le chapitre 2 offre une description détaillée de tous les mécanismes physiques du retrait hydrique. Il y est question de tension de surface, de ménisque capillaire, de force de van der Waals, d'adsorption et de pression de disjonction (terme introduit en chimie-physique par Derjaguin en 1935 et qui possède son équivalent, pression de gonflement, en géotechnique).

Le chapitre 3 traite des aspects chimiques du ciment. Il décrit d'abord le ciment anhydre, puis son hydratation et la dessiccation endogène qui s'y rattache. Il présente ensuite deux constituants majeurs de la pâte de ciment durcie, le silicate de calcium hydraté et la phase aqueuse interstitielle, la morphologie du premier étant mise en corrélation avec la composition ionique du second.

La porosité est une caractéristique fondamentale des matériaux cimentaires, qui intervient tant au niveau de leur perméabilité qu'au niveau de leur déformabilité hydrique. Aussi, le chapitre 4 porte-t-il sur la critique des méthodes de porosimétrie et dresse-t-il le bilan de nos connaissances sur la distribution de la taille des pores dans une pâte de ciment durcie.

Le chapitre 5 recense les procédures expérimentales, la composition des échantillons et les analyses chimiques ou minéralogiques des ciments employés. Parmi les expériences les plus intéressantes, citons la picnométrie, l'évaluation du retrait hydrique endogène par la combinaison de plusieurs axes de mesure, la modification qualitative des solutions interstitielles et, enfin, la comparaison du comportement hydrique avec ou sans traitement hydrofuge.

Les résultats de ces expériences, assortis de nos commentaires, sont présentés au chapitre 6. Ils rendent compte de l'important retrait chimique qui se manifeste immédiatement après l'incorporation du ciment dans l'eau, retrait attribué à la dissolution et à la précipitation des premiers hydrates, de l'ettringite essentiellement. Ils montrent que les oxydes alcalins favorisent les retraits chimique et hydrique. Ils démontrent, enfin, que le principal mécanisme de retrait hydrique est non pas capillaire, comme cela est généralement admis, mais colloïdal.

La synthèse finale fait l'objet du chapitre 7. Y figurent également un certain nombre de propositions d'ordre technologique et scientifique en vue d'applications ou de projets de recherche futurs.

Summary

Cement matrix shrinkage: a colloidal approach

A general introduction to the subject is provided in chapter 1, with a classification of the various forms of shrinkage and an overview of the economic, technological and scientific problems involved.

Chapter 2 contains a detailed description of all the physical mechanisms that play a role in hygral shrinkage, i.e. surface tension, capillary menisci, van der Waals forces, adsorption and disjoining pressure, a term introduced in physical chemistry by Derjaguin in 1935 that is equivalent to swelling pressure in geotechnics.

Chapter 3 looks at the chemical aspects of the system. Anhydrous cement is described and its hydration and self-desiccation are discussed. There is also a description of the two major components of hardened cement paste, namely hydrated calcium silicate and the interstitial aqueous phase, and the relationship between the morphology of the former and the ionic composition of the latter is considered.

Porosity is a fundamental characteristic of cement materials and affects both their permeability and the hygral deformability. Chapter 4 discusses analytic methods and summarizes the current state of knowledge on pore size distribution in hardened cement paste.

Chapter 5 looks at experimental procedures, mixture proportions and chemical and mineralogical analyses of the cements used to make the samples. Of particular relevance in this respect are picnometry, the evaluation of endogenous hygral shrinkage using different measurement axes, changes in the quality of pore solutions and, finally, a comparison of the hygral behaviour with and without water repellent treatment.

A presentation and discussion of the findings follows in chapter 6. The results reveal that considerable chemical shrinkage takes place after the introduction of the cement into water as a result of the dissolution and precipitation of the first hydrates, for the most part ettringite. They explain why alkaline oxides promote both chemical and hygral shrinkage and show that the principal mechanism involved in hygral shrinkage is not capillary, as is generally assumed, but colloidal.

Chapter 7 contains the concluding summary as well as proposals for future technological and scientific applications or research projects.

Zusammenfassung

Kolloidale Annäherung des Schwindens von Zement Matrizen

Kapitel 1 liefert eine allgemeine Einführung in die vorliegende Arbeit, wobei der Zusammenhang zwischen Schwinden und Dauerhaftigkeit von Stahlbeton-Bauwerken betont wird. Die hier angewandte Einteilung der unterschiedlichen Schwindarten wird in Form einer Tabelle dargestellt.

Im Kapitel 2 werden die physikalischen Grundlagen des hygrischen Schwindens ausführlich beschrieben. Dazu gehören u.a. Begriffe wie Oberflächenspannung, Kapillarität, van der Waals-Kraft, Adsorption und Spaltdruck (eine Bezeichnung, die durch Derjaguin um 1935 in der physikalischen Chemie eingeführt wurde und die in der Geotechnik als Quelldruck bekannt ist).

Kapitel 3 behandelt die chemischen Aspekte des Zements, wobei sowohl der unhydratisierte Zustand als auch der Hydratationsvorgang und die Selbstaustrocknung beschrieben werden. Zwei wichtige Bestandteile des Zementsteins, das Calciumsilikathydrat und die Porenlösung, werden untersucht, und die Morphologie des Ersten wird mit der Zusammensetzung der Zweiten verbunden.

Die Porosität ist eine grundlegende Eigenschaft der zementgebundenen Werkstoffe, die sowohl die Permeabilität als auch die hygrische Verformbarkeit beeinflusst. Kapitel 4 vergleicht die Porosimetrie-Methoden und faßt den Stand des Wissens über Porengrößenverteilung innerhalb des Zementsteins zusammen.

Im Kapitel 5 werden die experimentellen Arbeitsverfahren, die Rezepturen und die chemischen sowie mineralogischen Analysen der verwendeten Zemente angegeben. Zu den interessantesten Untersuchungen zählen die Pyknometrie, die mehrachsige Bestimmung des endogenen Schwindens, die qualitative Veränderung der Porenlösung und schließlich die Gegenüberstellung des hygrischen Schwindens mit und ohne Hydrophobierung.

Die Aufstellung und die Diskussion der Versuchsergebnisse folgen im Kapitel 6. Sie zeigen, daß, sobald Wasser und Zement gemischt werden, beträchtliches chemisches Schwinden auftritt, bei dem die Ettringitbildung eine Hauptrolle spielt. Sie erläutern den Grund, weshalb die Alkalioxyden das chemische sowie das hygrische Schwinden begünstigen. Sie veranschaulichen, daß das hygrische Schwinden vorwiegend durch kolloidale Wechselwirkungen entsteht und kaum auf Kapillarität beruht.

Kapitel 7 beinhaltet die Zusammenfassung sowie Vorschläge für praktische Anwendungen der erzielten Ergebnisse und für weitere Forschungsvorhaben, die das Bild der Schwindmechanismen noch verschärfen könnten.