

RESUMEN

El estudio de la retracción por secado y la fluencia en el hormigón ha sido objeto importante de investigación durante décadas. Estos fenómenos tienen gran importancia, cuanto menos económica, en el diseño de estructuras de hormigón modernas, como los puentes con grandes vanos, recipientes para reactores nucleares, cáscaras, estructuras *off-shore* o estructuras subterráneas. Gran parte de los estudios encontrados en la bibliografía se concentran en el análisis experimental de estos fenómenos, ya sea a partir de probetas de diversos tamaños y formas o bien directamente a partir de elementos estructurales. La gran cantidad de información acumulada ha permitido el desarrollo de formulaciones empíricas para estimar las deformaciones que una estructura sufrirá como consecuencia de estos efectos diferidos. A día de hoy, los códigos de edificación todavía tratan la retracción por secado y la fluencia de manera empírica, donde el efecto de la humedad relativa y del tamaño de las secciones sometidas a secado se tienen en cuenta mediante factores aproximados.

La parte restante de los trabajos realizados en esta materia se centra en la modelación de la retracción por secado utilizando métodos numéricos, como los métodos de los Elementos Finitos (MEF), de las Diferencias Finitas o de los Volúmenes Finitos. Es principalmente en este campo donde todavía resta dilucidar diversos aspectos e interaccionar con la rama experimental, de manera de diseñar campañas experimentales más efectivas. Tradicionalmente los estudios en este campo se han realizado de un modo fenomenológico, en el cual el hormigón se considera como un material continuo homogéneo. Un planteamiento más completo y potente puede conseguirse con modelos meso-estructurales, en los cuales la estructura interna del material se representa explícitamente. Este trabajo se enmarca dentro de este último subgrupo, más específicamente dentro de la modelación avanzada por el MEF del comportamiento de materiales cuasi-frágiles, como el hormigón. Se analiza el material a un nivel de observación microscópico de primer nivel (mesoestructura), en el que el material no se trata como un continuo homogéneo, sino que se tiene en cuenta la naturaleza heterogénea propia del material de manera explícita en la malla de elementos finitos. Adicionalmente se introducen elementos junta para la representación explícita de la fisuración y el flujo a través de las fisuras. El análisis se realiza en forma acoplada higo-mecánica, mediante una estrategia *staggered* sobre la misma malla de elementos finitos.

El objetivo principal de este trabajo es el de profundizar y realizar un aporte en el campo de los fenómenos diferidos tales como la retracción por secado en el hormigón, por medio de la modelación en 2D del material desde un punto de vista meso-estructural, considerando tanto los efectos mecánicos como los mecanismos de difusión del contenido de humedad en el seno del mismo.

La simulación numérica ha consistido en imponer inicialmente la humedad relativa en ciertas caras de las probetas e impedir el flujo en las restantes. De esta manera se analizó el secado y la fisuración que éste produce. También se han realizado cálculos preliminares en los que se ha aplicado un secado simultáneamente con cargas de compresión. Adicionalmente se ha estudiado el efecto puramente mecánico de la altura de probetas de hormigón en el comportamiento de reblandecimiento.

Los resultados obtenidos permiten reproducir de forma cualitativa aspectos importantes del comportamiento real observado, lo cual pone de manifiesto la potencialidad de esta metodología mesoestructural para profundizar en la investigación futura de la fluencia con secado. El ajuste de los parámetros del modelo con resultados experimentales ha puesto en evidencia que todavía pueden mejorarse ciertos aspectos del modelo.

ABSTRACT

The effects of drying shrinkage and creep in concrete have been widely studied over the past decades. These phenomena are extremely important in the design of modern concrete structures, such as large-span bridges, nuclear reactor vessels, shell structures, off-shore structures or underground structures. A large part of the scientific and technological work found in the literature concentrates on the experimental analysis of creep and shrinkage of different specimens or even of small structural members. The development of empirical formulations for estimating the deformations that a structure will suffer as a consequence of these phenomena have been made possible by the huge amount of data recorded over the years. Nowadays, building codes still consider creep and shrinkage in an empirical way, where the effect of environmental relative humidity and temperature, and the size and shape of the analyzed cross-sections are taken into account by approximated factors.

The remaining part of scientific studies in this field deals with the computational modeling of creep and shrinkage with numerical methods, such as the Finite Element Method (FEM), the Finite Difference Method, or the Finite Volume Method. It is mainly in this vast field where there are still a number of aspects for which a generally accepted explanation is missing. Moreover, the interaction with an effective design of experimental campaigns could render a lot of benefits. Traditionally, studies in this field have been performed from a phenomenological point of view, in which concrete is considered as a continuum and homogeneous material. A more powerful approach can be achieved with the so-called mesostructural models, in which the internal structure of the material is explicitly represented in the simulation. This is the framework of the present work, specifically dealing with the advanced FEM modeling of the coupled hygro-mechanical behavior quasi-brittle materials, such as concrete. The material is not treated as a homogeneous medium, but instead the heterogeneous nature of concrete is considered explicitly in the finite element mesh. In addition, zero-thickness interface elements are introduced a priori within the mesh in order to consider cracking and drying through cracks also in an explicit way. Hygro-mechanical coupling is considered in the analysis through a staggered strategy over the same finite element mesh.

The main objective of the present work is to get a better understanding and make a contribution in the field of time-dependent phenomena, such as drying shrinkage in concrete, through the 2D mesostructural modeling of the material. Mechanical as well as moisture diffusion effects are considered in the simulations.

Numerical calculations consisted in imposing the environmental relative humidity in some faces of the specimens and avoiding the moisture flux in the remaining ones. In this way, drying of concrete as well as the crack patterns developed, were analyzed. In addition, preliminary calculations of simultaneous drying and compressive loads have been performed. Finally, the purely mechanical effect of concrete specimen height in the softening behavior has been studied. Results obtained reproduce qualitatively well some important aspects of the observed behavior in real specimens. The advantages of using this methodology have been pointed out, and the results are encouraging for future work in the drying creep domain. Curve fitting of the model parameters with experimental data have demonstrated that there are still a number of aspects which should be improved.