

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DEL TERRENO, CARTOGRÁFICA Y GEOFÍSICA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS

**ESTUDIO DE LA RETRACCIÓN Y EL
AGRIETAMIENTO DE ARCILLAS.
APLICACIÓN A LA ARCILLA DE BOGOTÁ**

TESIS DOCTORAL DE
GUILLERMO EDUARDO ÁVILA ÁLVAREZ

DIRIGIDA POR
**ALBERTO LEDESMA VILLALBA
ANTONIO LLORET MORANCHO**

BARCELONA, NOVIEMBRE DE 2004

Para: Pily, Pau y José Luis.

RESUMEN

En esta investigación se profundiza en el conocimiento de los mecanismos y variables más relevantes que intervienen en agrietamiento de suelos arcillosos por fenómenos de retracción. Se analizan varios modelos de predicción de agrietamientos y se formula un programa experimental que se adelanta sobre una arcilla blanda de plasticidad media, obtenida en la ciudad de Bogotá, donde ocurre este tipo de problemas, asociado a la desecación del terreno.

Inicialmente se hace la caracterización básica de la arcilla, mediante ensayos de clasificación, evaluación de propiedades mineralógicas y microestructurales, determinación de la curva de retención por diferentes métodos, ensayos edométricos convencionales y de succión controlada y ensayos de resistencia al corte.

Luego se evalúa la resistencia a la tracción de la arcilla mediante ensayos de tracción directa con medición de tensión, deformación y succión. La principal innovación de estas pruebas fue la medición de la succión durante el ensayo mediante un pequeño tensiómetro de respuesta rápida que se ubicó cerca de la superficie de agrietamiento esperada, de esta manera, si el suelo está saturado se puede saber el estado de tensiones efectivas actuante. Los resultados obtenidos permitieron plantear un modelo de resistencia a la tracción en tensiones efectivas, que brinda mayor claridad conceptual al criterio de inicio de grietas por desecación, empleado en algunos modelos de agrietamiento.

La estabilidad o extensión de grietas previamente formadas, es un aspecto que se puede abordar desde la mecánica de fractura lineal elástica (LEFM). Aquí se revisan los principios básicos de la LEFM y del efecto de tamaño de mecánica de fractura, adicionalmente se ejecutan ensayos de para determinar sus parámetros principales, que son la tasa crítica de liberación de energía y la tenacidad a la fractura. Los resultados muestran que la LEFM brinda un marco conceptual muy promisorio pero que debido al comportamiento elastoplástico de la arcilla, los parámetros de fractura que se determinaron son un indicativo de cierto intervalo razonable de variabilidad y no propiamente una constante del material.

El análisis morfológico de la formación y avance de grietas se hizo a escala microscópica y macroscópica en muestras de arcilla sometidas a desecación. En el primer caso se observó que las grietas ocurren desde etapas muy tempranas pero no necesariamente corresponden con el agrietamiento final, pues éste depende principalmente de las condiciones de contorno impuestas por el molde en el que está la muestra. Adicionalmente el avance de las grietas no es continuo sino por tramos cortos, interconectados por grumos o partículas mayores. El agrietamiento inicial ocurre lentamente pero después de un cierto momento se presenta agrietamiento súbito y total de la muestra. A escala macroscópica el procesos es similar y los ensayos de desecación realizados con moldes de diferentes formas y tamaños confirma que la ubicación de las grietas y la humedad a la cual se inician, dependen de manera especial de las restricciones a la contracción impuestas por los moldes aunque también influyen la humedad inicial y la tasa de desecación. A partir de las mediciones de las áreas de grietas se evaluaron aspectos cuantitativos del agrietamiento tanto en procesos de secado como de rehidratación.

ABSTRACT

In this research a careful study of the most relevant mechanisms and variables involved in shrinkage cracking of clayey soils has been performed. Some prediction models are reviewed and an experimental program has been conducted on a soft to moderate plasticity clay from Bogotá city, where this kind of cracking is present due to soil desiccation.

Initially, a basic clay characterization was carried out by means of classification tests and evaluating mineralogical and microstructural properties. In addition to that, the soil water retention curve using different methods, and conventional and suction controlled oedometer tests and shear strength tests were performed.

Tension strength was obtained in direct tension tests. The main innovation of these experiments was that aside from stress and deformation, suction was also measured in the sample by means of a small tensiometer of fast response, placed near the assumed cracking surface. In this way it was possible to know the effective stress state. From these results, a tension strength analysis in effective stresses is proposed which may clarify the criterion of shrinkage crack initiation, used in some of the models.

Stability or propagation of existing cracks may be evaluated using a linear elastic fracture mechanics (LEFM) approach. In this research, the basic principles of LEFM, including the fracture mechanics size effect are reviewed and the main fracture mechanics parameters, namely critical energy release rate and crack intensity factor have been obtained from fracture tests. These results show that LEFM gives a convenient conceptual framework but due to elastoplastic behavior of the clay, fracture mechanics parameters should be seen as indicative values of a certain interval of variation rather than a material property.

Morphological analysis of crack formation and propagation was made in microscopic and macroscopic scales from clay samples undergoing desiccation. In the first case it was observed that cracking occurred from very early stages but they did not necessarily correspond to final cracking, which mainly depends on boundary conditions imposed by the mould where sample is placed. Additionally, crack growth is not continuous but it advances in short intervals interconnected by clusters or larger size particles. Initial cracks grow slowly but after some time a sudden and total cracking of the sample occurs. In the macroscopic scale the process is similar and desiccation tests on samples placed in moulds with different shapes and sizes, confirm that crack position and moisture content at crack initiation depend mainly on the contraction restrictions imposed by the moulds and to a lower extent on the initial moisture and desiccation rate. From the measurement of crack surfaces, some quantitative cracking aspects were evaluated during drying and hydration processes.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer la valiosa orientación de mis directores de tesis, los profesores Alberto Ledesma y Antonio Lloret quienes además tuvieron la disposición y la paciencia de dirigir buena parte del trabajo a través de muchas comunicaciones por correo electrónico y por mensajería. A Enrique Romero por sus oportunos consejos en el montaje de los ensayos, a Iván Berdugo por su colaboración desde Barcelona en muchos trámites administrativos, a los demás compañeros y funcionarios del Departamento de Ingeniería del Terreno y en general a la UPC porque me abrió sus puertas para cumplir un propósito personal.

Le estoy muy agradecido a Ingeominas, la empresa donde trabajo en Colombia, por su apoyo a mi labor investigativa y en particular a mis compañeros del Laboratorio de Geomecánica y del Microscopio Electrónico, quienes con el mejor ánimo siempre me colaboraron en distintas etapas del trabajo experimental.

A mi familia le debo mucho en esta aventura académica, pues tanto mi esposa María del Pilar como mis pequeños hijos María Paula y José Luis vivieron conmigo las alegrías y angustias del doctorado y siempre me dieron el mejor ánimo. Asimismo agradezco de corazón el constante y decidido apoyo de mi madre y de mi hermana Adriana. De manera póstuma agradezco a mi hermana Gloria Patricia por su inocencia y alegría compartidas y a mi padre porque, estoy seguro, estaría mucho más orgulloso que yo con la culminación de este trabajo.