

A New Way to Predict Creep and Shrinkage

An ACI Foundation-funded research project

by Victoria K. Sicaras, on behalf of the ACI Foundation

Having creep and shrinkage modeling tools to accurately predict concrete behavior over time is essential for designing and maintaining serviceable, safe structures. Knowing how long a structure's useful service life should be, and how concrete performs under sustained loads, is instrumental in determining when retrofits are needed or whether structural issues are materializing. This is particularly important for creep-sensitive structures, such as high-rise buildings, concrete box-girder bridges, and prestressed beams. However, many time-dependent models are outdated with respect to today's growing database of experimental evidence. A new research study funded by the ACI Foundation aims to rectify this issue.

Emerging from the research is a time-dependent design model that captures the complex reality of how creep and shrinkage phenomena are interconnected. Using solidification theory, the researchers calibrated the new model to meet the twin objectives of simplicity in application and theoretical rigor. It is poised for adoption into ACI design guidelines regarding creep and shrinkage, prestress losses, and deflections of concrete structures.

The Need for New Models

ACI Committee 209, Creep and Shrinkage in Concrete, reports information on creep and shrinkage of concrete and concrete structures. Documents published by the committee include ACI PRC-209.2-08, Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete¹; ACI PRC-209.1-05, Report on Factors Affecting Shrinkage and Creep of Hardened Concrete²; and ACI PRC-209-92, Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures (Reapproved 2008).³

Since their initial publication in the 1990s through the early 2000s, the guides have relied on a creep and shrinkage model developed in 1982 to calculate time-dependent deformations. In 2019, however, ACI Committee 209 determined that the model no longer reflected the current understanding of time-dependent behavior and discontinued support for that model. Experimental evidence collected over the past few

decades indicated the model may no longer perform well for long-term (multi-decade) creep and shrinkage predictions, and especially for large or complex structures.

"At the time when the provisions were developed, that model reflected the best knowledge that we had about creep and shrinkage. But when you start to apply it to modern design practices with modern mixtures, beyond how it was originally intended, it breaks down and doesn't work properly," explained Brock Hedegaard, Principal Investigator of the research project and Secretary of ACI Committee 209.

To ensure ACI Committee 209 guidelines align with modern practices and structures, a new model was needed to reflect advances in knowledge about creep and shrinkage mechanisms. In 2019, Hedegaard began working with committee member—and now committee Chair—Mija Hubler on a research proposal with the goal of bringing to life such a model. They found a champion for their work in the ACI Foundation's Concrete Research Council (CRC).

Each year, CRC hosts a request for proposals (RFP) program that awards funding to several concrete research projects. Hedegaard and Hubler's RFP was selected to receive funding in 2020.

Getting Funded

The proposal involved calibrating a creep and shrinkage model that uniquely facilitates both traditional integral-type and modern rate-type analyses (refer to textbox). To create and calibrate the model, researchers needed to curate and vet a comprehensive database, which was a challenging task in itself, Hedegaard said. They also had to identify the appropriate input parameters and perform statistical comparisons to select the final model.

"This sort of undertaking would have been extremely difficult to get off the ground without the ACI Foundation and CRC," Hedegaard stated. "What we were doing did not really qualify as basic research, because we were working with already established databases and not adding new data, and there aren't a lot of funding entities interested in that. But bringing things up to date and making design documents

applicable to the state of practice is incredibly valuable.”

ACI Foundation Executive Director Ann Masek agreed: “ACI technical committees regularly need updates to their technical work product, and we were pleased with the opportunity to support this critical research need of ACI 209.”

CRC’s open RFP program allows researchers to submit unsolicited research projects. A major requirement is that the research must be endorsed by at least one ACI technical committee. Thanks to funding from ACI and donations to research from the ACI community, the number of grants awarded has grown significantly over the last several years. The funding is awarded based on relevancy and potential impact of the research, overall proposal quality, researcher capability, supplemental support for the project (such as collaboration with other funders and organizations), and ACI

Project Details

Name: Calibration of Simplified Creep and Shrinkage Models Developed Using Solidification Theory

Principal Investigator: Brock Hedegaard, Associate Professor of civil engineering at the University of Minnesota, Duluth, MN

Co-Principal Investigator: Mija Hubler, Associate Professor and the Co-Director of the Center for Infrastructure, Energy and Space Testing at the University of Colorado, Boulder, CO

ACI Technical Committee endorsement: ACI Committee 209, Creep and Shrinkage in Concrete

Funder: ACI Foundation

About the Research: Traditional time-dependent analysis has relied on definition of a compliance function or creep coefficient. For time-varying stresses, the strain may be approximated (for example, through the age-adjusted modulus method) or computed using integral-type analysis. Rate-type analysis does not require computation of an integral over the entire stress history; thus, it is more efficient and accurate for more complex structural analysis. Previously, no existing time-dependent model other than the B3/B4 basic creep expression had a convenient form for performing rate-type analysis.

The model developed over the course of this research project changes this reality. The new model has closed-form expressions for the compliance function and compliance rate, uniquely supporting both analysis approaches. These features place the model on the cutting edge of time-dependent structural analysis.

The calibration was conducted in three steps:

1. Database management and preparation;
2. Identification of appropriate input parameters and calibration by nonlinear optimization; and
3. Statistical comparison and final model selection per information theory.

technical committee engagement. In the case of the time-dependent model project, it had unanimous endorsement by ACI Committee 209, as well as commitments from several of the industry’s leading design and engineering companies to serve on an advisory panel.

“Not only will the research results advance industry practice, with its updated model prediction of time-dependent deflections and stresses in concrete structures, but we also got a chance to support the work of early career professors like Brock [Hedegaard] and Mija [Hubler],” Masek said.

Supporting Early Career Faculty

At the time of funding, Hedegaard was an Assistant Professor of civil engineering at the University of Minnesota, Duluth, MN, USA. Hubler, who served as Co-Principal Investigator on the project, was an Assistant Professor of civil, environmental, and architectural engineering at the University of Colorado, Boulder, CO, USA. One graduate research assistant contributed to the research.

The ACI Foundation shares ACI’s vision of a future where everyone has the knowledge needed to use concrete effectively to meet the demands of a changing world. To support this shared vision, the Foundation’s mission is to make strategic investments in ideas, research, and people to create the future of the concrete industry.

“Investing in ‘people’ is a critical component of the mission, and it drives CRC’s efforts to award at least two grants annually to projects led by an associate or assistant professor or other type of early career faculty,” according to CRC Chair Sulapha Peethamparan. “This helps us make sure we are aiding the promotion and development of future generations of concrete researchers.”

The grants also limit funding of research organizations’ indirect costs to 15%. This ensures the funds are directed to the people and activities involved in a project and not the organization’s overhead.

“Receiving the funding needed to conduct research helps young professionals like us contribute to academia and industry, and those research projects are great bullet points to have when seeking tenure,” Hedegaard said. “But also, most of the CRC grant money we received was used to fund our student’s tuition and other project-related needs. Our student was important to the project because he helped develop the model, plus he was doing all the number crunching and MATLAB work.”

Mutual Benefits of Industry Involvement

“Our industry advisory panel was very helpful in terms of brainstorming model candidates,” Hedegaard said. “We had building engineers, bridge engineers, and a distribution of people who had performed creep and shrinkage testing.”

The project’s advisory panel included representatives from FIGG Bridge Group; Meyer Borgman Johnson (MBJ); MJ2 Consulting; Skidmore, Owings & Merrill (SOM); Wiss, Janney, Elstner Associates (WJE); and WSP USA. Ongoing dialogue

between the researchers and panel members guided the concept of a model that incorporates the interconnectedness of creep and shrinkage.

“MJ2 Consulting’s Matt D’Ambrosia brought up the fact that different types of creep and shrinkage don’t occur separately. They are connected in some way because it all comes down to what happens to water in concrete. Factoring in these relationships between creep and shrinkage phenomena is one of the reasons why the model does very well in comparison with the databases. It’s a big leap forward for our industry, I hope,” Hedegaard explained.

Panel members also provided input on what they would want to see in a design document, which was beneficial for both the researchers and the companies involved, Hedegaard said. Because the model aligns with industry best practices where it makes sense to do so, it is both useful for theoretical predictions and as a practical tool in real-world applications.

Advancing the Concrete Industry

During the project duration, results were presented at ACI convention Open Topic technical sessions and regular meetings of ACI Committee 209. Roman Wan-Wendner, ACI Subcommittee 209-D Chair and ACI Committee 209 Vice Chair, served as committee liaison between the project team, the advisory panel, and Committee 209.

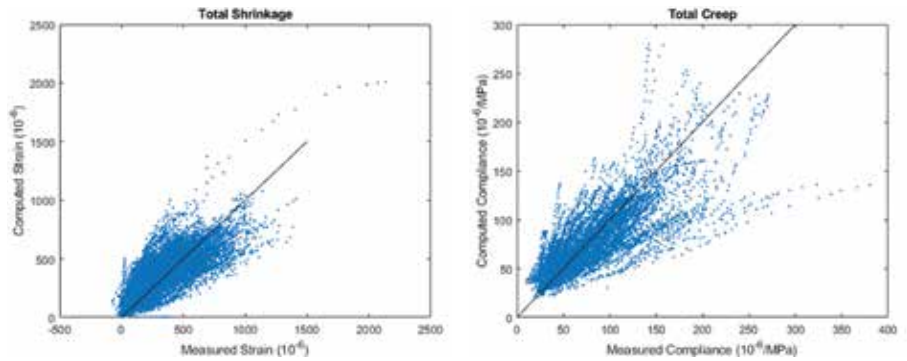
“The project was a positive and fun process,” Hedegaard said. “There was a lot of back and forth as we bounced ideas around, and a lot of creative thinking from multiple angles and parties. What we ended up with was a model that is a very good fit to the database, but it’s also a tool that you can take to your design office and use.”

A manuscript documenting the calibrated model was published in the May 2023 issue of *ACI Materials Journal*.⁴ The model also will be presented to ACI Committee 209 for incorporation into ACI PRC-209.2. In addition, it will be featured in two planned reports from Committee 209 documenting time-dependent structural analysis by either traditional integral methods or modern rate-type methods. The model, which facilitates both, is expected to form the basis for robust design guidance in both documents.

The ACI Foundation looks forward to funding future research and innovations that provide needed solutions for industry needs, Masek said. Organizations can aid the Foundation’s efforts and support concrete-related research and technology advancements by contributing their expertise, experience, and donations. Visit www.acifoundation.org/giving for more details.

References

1. ACI Committee 209, “Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete (ACI PRC-209.2-08),”



The research project’s calibrated model predictions compared to measurements from the Northwestern University creep and shrinkage database (based on Fig. 8 in Reference 4)



Brock Hedegaard checks out a double-ring concrete shrinkage test at the Turner-Fairbank Highway Research Center laboratory in McLean, VA, USA (photo courtesy of Brock Hedegaard)

American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 45 pp.

2. ACI Committee 209, “Report on Factors Affecting Shrinkage and Creep of Hardened Concrete (ACI PRC-209.1-05),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 12 pp.

3. ACI Committee 209, “Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures (ACI PRC-209-92) (Reapproved 2008),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 47 pp.

4. Hedegaard, B.D.; Clement, T.J.; and Hubler, M.H., “Coupled Pore Relative Humidity Model for Concrete Shrinkage and Creep,” *ACI Materials Journal*, V. 120, No. 3, May 2023, pp. 103-116.

Selected for reader interest by the editors.



Victoria (Vikki) K. Sicaras is an Account Manager with Advancing Organizational Excellence (AOE), an ACI subsidiary that provides marketing and association management consulting services. She has more than 20 years of experience writing and editing for leading construction industry publishers, with a focus on concrete construction.

Una nueva forma de predecir el flujo plástico y la contracción

Un proyecto de investigación financiado por la Fundación ACI

Por Victoria K. Sicaras, en nombre de la Fundación ACI

Disponer de herramientas para crear un modelo del flujo plástico y la contracción con el fin de predecir con exactitud el comportamiento del concreto con el paso del tiempo, es esencial para diseñar y mantener estructuras funcionales y seguras. Es fundamental conocer cuál es la vida útil de una estructura y el comportamiento del concreto bajo cargas sostenidas para determinar cuándo será necesario realizar adaptaciones o si se están materializando problemas estructurales. Esto es especialmente importante para las estructuras sensibles al flujo plástico, tales como edificios de gran altura, puentes de concreto con vigas cajón y vigas pretensadas. Sin embargo, muchos modelos que dependen del tiempo han quedado obsoletos con respecto a la creciente base de datos de pruebas experimentales de hoy en día. Un nuevo estudio de investigación financiado por la Fundación ACI pretende rectificar esta situación.

El resultado de la investigación es un modelo de diseño en función del tiempo que capta la compleja realidad de la interconexión de los fenómenos del flujo plástico y la contracción. Utilizando la teoría de la solidificación, los investigadores calibraron el nuevo modelo para cumplir simultáneamente los objetivos de sencillez de aplicación y rigor teórico. Está listo para su adopción en las guías de diseño del ACI relativas al flujo plástico y la contracción, las pérdidas de pretensado y las deflexiones de las estructuras de concreto.

La necesidad de nuevos modelos

El Comité ACI 209, Flujo Plástico y Contracción en el Concreto, proporciona información sobre el flujo plástico y la contracción del concreto y las estructuras de concreto. Los documentos publicados por el comité incluyen el ACI PRC-209.2-08, Guía para el Modelado y Cálculo de la Contracción y el Flujo Plástico en el Concreto Endurecido¹; el ACI PRC-209.1-05, Informe sobre los Factores que Afectan la Contracción y el Flujo Plástico del Concreto Endurecido²; y el ACI PRC-209-92, Predicción del Flujo Plástico, la Contracción y los Efectos de la Temperatura en las Estructuras de Concreto (Reaprobado en 2008)³.

Desde su publicación inicial en los años noventa hasta principios de los años 2000, las guías se han basado en un modelo de flujo plástico y contracción desarrollado en 1982 para calcular las deformaciones en función del tiempo. En 2019, sin embargo, el Comité ACI 209 determinó que el modelo ya no reflejaba el conocimiento actual del comportamiento en función del tiempo y suspendió el apoyo a ese modelo. Las pruebas experimentales recopiladas en las últimas décadas indicaban que el modelo ya no funcionaba bien para las predicciones a largo plazo (varias décadas) del flujo plástico y la contracción, y especialmente para estructuras grandes o complejas.

“En la época en que se elaboraron las disposiciones, ese modelo reflejaba el mejor conocimiento que teníamos sobre el flujo plástico y la contracción. Pero cuando empiezas a aplicarlo a prácticas de diseño modernas con mezclas modernas, más allá de cómo se concibió originalmente, se desmorona y no funciona correctamente”, explicó Brock Hedegaard, investigador principal del proyecto de investigación y secretario del Comité ACI 209.

Para garantizar que las guías del Comité ACI 209 se alinearan con las prácticas y estructuras modernas, se necesitaba un nuevo modelo que reflejara los avances en el conocimiento sobre los mecanismos del flujo plástico y la contracción. En 2019, Hedegaard comenzó a trabajar con la miembro del comité -y ahora presidenta del mismo- Mija Hubler en una propuesta de investigación con el objetivo de dar vida a dicho modelo. Encontraron un promotor de su trabajo en el Consejo de Investigación del Concreto (CRC, por sus siglas en inglés) de la Fundación ACI.

Cada año, el CRC organiza un programa de Solicitud de Propuestas (RFP, por sus siglas en inglés) que concede fondos a varios proyectos de investigación sobre el concreto. La RFP de Hedegaard y Hubler fue seleccionada para recibir financiamiento en 2020.

Obtención de financiamiento

La propuesta consistió en calibrar un modelo de flujo plástico y contracción que facilite tanto los análisis tradicionales de tipo integral como los modernos de tipo de tasa (véase el cuadro de texto). Para crear y calibrar el modelo, los investigadores tuvieron que recopilar y examinar una amplia base de datos, lo que supuso un reto en sí mismo, según Hedegaard. También tuvieron que identificar los parámetros de entrada adecuados y realizar comparaciones estadísticas para seleccionar el modelo final.

“Sin la Fundación ACI y el CRC, habría sido muy difícil poner en marcha este tipo de proyecto”, afirma Hedegaard. “Lo que hacíamos no se podía calificar como investigación básica, porque trabajábamos con bases de datos ya establecidas y no añadíamos datos nuevos, y no hay muchas entidades patrocinadoras interesadas en eso. Pero actualizar las cosas y hacer que los documentos de diseño sean aplicables en la práctica es increíblemente valioso”.

La Directora Ejecutiva de la Fundación ACI, Ann Masek, estuvo de acuerdo: “Los comités técnicos del ACI necesitan actualizar periódicamente su producto de trabajo técnico, y nos complace tener la oportunidad de apoyar esta necesidad crítica de investigación del ACI 209”.

Gracias al programa público de RFP del CRC, los investigadores pueden presentar proyectos de investigación no solicitados. Un requisito

importante es que la investigación esté avalada por al menos un comité técnico del ACI. Gracias al financiamiento del ACI y a las donaciones a la investigación de la comunidad ACI, el número de subsidios concedidos ha crecido significativamente en los últimos años. Estos fondos se conceden en función de la relevancia y el impacto potencial de la investigación, la calidad general de la propuesta, la capacidad del investigador, el apoyo complementario al proyecto (como la colaboración con otras entidades y organizaciones financiadoras) y el compromiso del comité técnico del ACI. En el caso del proyecto del modelo en función del tiempo, contó con el respaldo unánime del Comité ACI 209, así como con el compromiso de varias de las principales empresas de diseño e ingeniería del sector para actuar como grupo asesor.

“Los resultados de la investigación no sólo harán avanzar las prácticas de la industria, con su modelo actualizado de predicción de las deformaciones y esfuerzos en función del tiempo en estructuras de concreto, sino que también tuvimos la oportunidad de apoyar el trabajo de profesores que inician su carrera como Brock [Hedegaard] y Mija [Hubler]”, dijo Masek.

Detalles del Proyecto

Nombre: Calibración de Modelos Simplificados de Flujo Plástico y Contracción Desarrollados Utilizando la Teoría de la Solidificación.

Investigador principal: Brock Hedegaard, profesor asociado de ingeniería civil en la Universidad de Minnesota, Duluth, MN

Co-investigador principal: Mija Hubler, Profesora Asociada y Codirectora del Centro de Pruebas de Infraestructuras, Energía y el Espacio de la Universidad de Colorado, Boulder, CO

Aval del Comité Técnico del ACI: Comité ACI 209, Flujo Plástico y Contracción en el Concreto

Patrocinador: Fundación ACI.

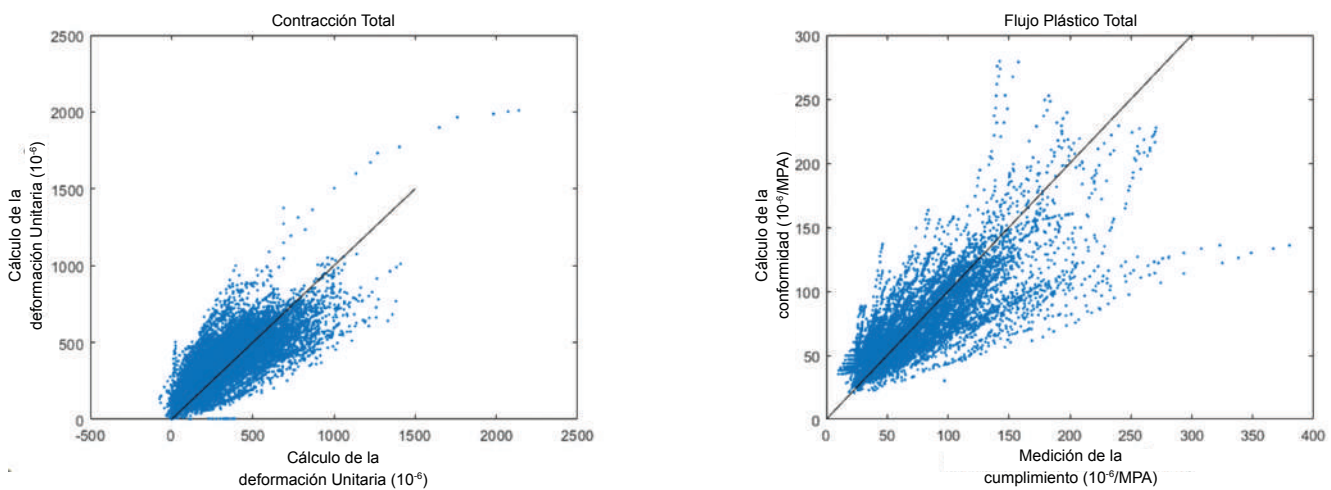
Acerca de la investigación: El análisis tradicional en función del tiempo se ha basado en la definición de una función de conformidad o coeficiente de flujo plástico. Para los esfuerzos que varían con el tiempo, la deformación puede aproximarse (por ejemplo, mediante el método del módulo ajustado a la edad) o calcularse utilizando un análisis de tipo integral. El análisis de tipo integral no requiere el cálculo de una

integral durante todo el historial de esfuerzos; por lo tanto, es más eficiente y preciso para análisis estructurales más complejos. Anteriormente, ningún modelo dependiente del tiempo, aparte de la expresión básica de flujo B3/B4, tenía una forma conveniente para realizar el análisis de tipo de tasa.

El modelo desarrollado durante este proyecto de investigación cambia esta realidad. El nuevo modelo tiene expresiones de forma cerrada para la función de conformidad y la tasa de conformidad, apoyando de forma única ambos enfoques de análisis. Estas características sitúan al modelo en la vanguardia del análisis estructural en función del tiempo.

La calibración se realizó en tres etapas:

1. Gestión y preparación de la base de datos;
2. Identificación de los parámetros de entrada adecuados y calibración mediante optimización no lineal; y
3. Comparación estadística y selección final del modelo según la teoría de la información.



Predicciones del modelo calibrado del proyecto de investigación comparadas con mediciones de la base de datos sobre el flujo plástico y la contracción de la Universidad Northwestern (basadas en la Fig. 8 de la Referencia 4).

Apoyo a los docentes que inicia su actividad profesional

Cuando se financió el proyecto, Hedegaard era el profesor adjunto de ingeniería civil en la Universidad de Minnesota, Duluth, MN, EE.UU. Hubler, coinvestigadora principal del proyecto, era profesora adjunta de ingeniería civil, medio ambiente y arquitectura en la Universidad de Colorado, Boulder, EE.UU. Un asistente de investigación graduado contribuyó a la investigación

La Fundación ACI comparte la visión del ACI de un futuro en el que todos dispongan de los conocimientos necesarios para utilizar el concreto de forma efectiva para satisfacer las demandas de un mundo cambiante. Para apoyar esta visión compartida, la misión de la Fundación es realizar inversiones estratégicas en ideas, investigación y personas para crear el futuro de la industria del concreto.

“Invertir en las ‘personas’ es un aspecto fundamental de la misión, e impulsa los esfuerzos del CRC para conceder al menos dos apoyos económicos anuales a proyectos dirigidos por un profesor asociado o adjunto u otro tipo de docentes que inician su carrera”, según Sulapha Peethamparan, presidenta del CRC. “Esto nos permite asegurarnos de estar ayudando al fomento y desarrollo de las futuras generaciones de investigadores del concreto”.

Los apoyos también limitan al 15% el financiamiento de los gastos indirectos de las organizaciones de investigación. Así se garantiza que los fondos se destinen a las personas y actividades implicadas en un proyecto y no a los gastos generales de la organización.

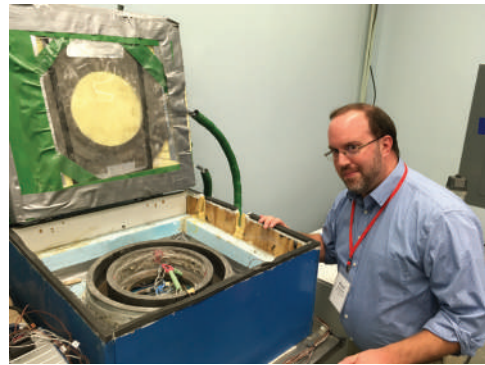
“Recibir los fondos necesarios para llevar a cabo investigaciones ayuda a jóvenes profesionistas como nosotros a contribuir al mundo académico y a la industria, y esos proyectos de investigación son magníficos puntos a tener en cuenta a la hora de solicitar la permanencia en el puesto”, dijo Hedegaard. “Además, gran parte del dinero del subsidio CRC que recibimos se utilizó para financiar los gastos de matriculación de nuestro estudiante y otras necesidades relacionadas con el proyecto. Nuestro estudiante era importante para el proyecto porque ayudó a desarrollar el modelo, además de hacer todos los cálculos numéricos y el trabajo con MATLAB.”

Ventajas recíprocas de la participación de la industria

“Nuestro panel asesor de la industria fue muy útil en cuanto a la lluvia de ideas de los modelos propuestos”, dijo Hedegaard. “Teníamos ingenieros de construcción, ingenieros de puentes y una distribución de personas que habían realizado ensayos de flujo plástico y contracción”.

El grupo asesor del proyecto estaba formado por representantes de FIGG Bridge Group; Meyer Borgman Johnson (MBJ); MJ2 Consulting; Skidmore, Owings & Merrill (SOM); Wiss, Janney, Elstner Associates (WJE); y WSP USA. El diálogo permanente entre los investigadores y los miembros del panel orientó el concepto de un modelo que incorpora la interconexión del flujo plástico y la contracción.

“Matt D’Ambrosia, de MJ2 Consulting, sacó a relucir el hecho de que los distintos tipos de flujo plástico y de contracción no se producen por separado. Están conectados de alguna manera porque todo se reduce a lo que ocurre con el agua en el concreto. Considerar estas relaciones entre los fenómenos del flujo plástico y la contracción es una de las razones por las que el modelo funciona muy bien en comparación con las bases de datos. Es un gran paso adelante para nuestra industria, espero”, explicó Hedegaard. Los miembros del grupo también aportaron sus opiniones sobre lo



Brock Hedegaard comprueba un ensayo de retracción del concreto con doble anillo en el laboratorio del Centro de Investigación de Autopistas Turner-Fairbank en McLean, VA, EE.UU. (foto cortesía de Brock Hedegaard).

que les gustaría ver en un documento de diseño, lo cual fue beneficioso tanto para los investigadores como para las empresas implicadas, dijo Hedegaard. Dado que el modelo se ajusta a las mejores prácticas del sector en los casos en que tiene sentido hacerlo, resulta útil tanto para predicciones teóricas como para aplicaciones prácticas en el mundo real.

El avance de la industria del concreto

Durante la duración del proyecto, los resultados se presentaron en las sesiones técnicas de temas abiertos de la convención del ACI y en las reuniones ordinarias del Comité ACI 209. Roman Wan-Wendner, presidente del Subcomité ACI 209-D y vicepresidente del Comité ACI 209, actuó como enlace entre el equipo del proyecto, el panel asesor y el Comité 209.

“El proyecto fue un proceso positivo y divertido”, dijo Hedegaard. “Hubo mucho intercambio de ideas y mucho pensamiento creativo desde múltiples ángulos y perspectivas. Al final conseguimos un modelo que se ajusta muy bien a la base de datos, pero que también es una herramienta que puedes llevar y utilizar en tu oficina de diseño”.

En mayo de 2023 se publicó un manuscrito que documenta el modelo calibrado en la revista ACI Materials Journal⁴. El modelo también se presentará al Comité ACI 209 para su incorporación al ACI PRC-209.2. Además, aparecerá en dos informes previstos del Comité 209 que documentan el análisis estructural en función del tiempo mediante métodos integrales tradicionales o métodos modernos de tipo tasa. Se espera que

el modelo, que facilita ambos métodos, constituya la base de una sólida guía de diseño en ambos documentos.

La Fundación ACI espera financiar futuras investigaciones e innovaciones que aporten soluciones a las necesidades de la industria, afirmó Masek. Las organizaciones pueden contribuir a los esfuerzos de la Fundación y apoyar la investigación y los avances tecnológicos relacionados con el concreto aportando sus conocimientos, experiencia y donaciones. Para más información, visite www.acifoundation.org/giving.

Referencias

1. ACI Committee 209, "Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete (ACI PRC-209.2-08)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 45 pp.
2. ACI Committee 209, "Report on Factors Affecting Shrinkage and Creep of Hardened Concrete (ACI PRC-209.1-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 12 pp.
3. ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures (ACI PRC-209-92) (Reapproved 2008)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 47 pp.
4. Hedegaard, B.D.; Clement, T.J.; and Hubler, M.H., "Coupled Pore Relative Humidity Model for Concrete Shrinkage and Creep," ACI Materials Journal, V. 120, No. 3, May 2023, pp. 103-116.



Victoria (Vikki) K. Sicaras es Directora de Cuentas de la Advancing Organizational Excellence (AOE), una filial del ACI que presta servicios de consultoría en marketing y gestión de asociaciones. Cuenta con más de 20 años de experiencia en redacción y edición para las principales editoriales del sector de la construcción, con especial atención a la construcción con concreto.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noreste

Título: Una nueva forma de predecir el flujo plástico y la contracción



*Traductora:
Lic. Iliana M.
Garza Gutiérrez*



*Revisor Técnico:
Dr. Jorge Maurilio
Rivera Torres*