

Nanoadditives Can Improve Concrete Durability

by Aram Kalousdian

A study done by the Joint Transportation Research Program in West Lafayette, IN, USA, has concluded that nano-titanium dioxide (nano-TiO₂) and two forms of colloidal nanosilica can accelerate the early-age hydration process of cementitious pastes, particularly those containing fly ash and cured at low temperatures.¹ The study was sponsored by the Indiana Department of Transportation (INDOT). It included the fabrication, curing, and conditioning of specimens in the laboratory, followed by microstructure analyses, mechanical strength testing, and durability testing. The compressive and flexural strength of mortar and concrete mixtures were also enhanced by the addition of nanoparticles. The incorporation of nanoparticles reduced the total amount and connectivity of pores present in the concrete mixtures. This resulted in lowering the water permeability of the concrete, regardless of the cementitious systems and curing temperatures used. The resistance of the concrete mixtures to freezing-and-thawing cycles and scaling was also improved by the addition of nanoparticles, especially those containing fly ash. However, the study also found that an excess of nanoparticles may reduce the scaling resistance of concrete.

It was determined that 7-day and 28-day compressive strengths of the concrete mixtures were improved by the addition of nano-TiO₂, for all studied concrete types (with and without supplementary cementitious materials [SCMs]) and at various curing temperatures. The effect is more significant in

concrete containing slag cement with a higher water-cement ratio (*w/c*). Results from a fundamental resonant frequency test suggest that nano-TiO₂ could reduce the porosity of cementitious composites, especially when SCMs are used.

“The study on the durability properties of concretes involves evaluating the pore systems and permeability and appraising the frost resistance of concretes modified by nano-TiO₂. It was found that nano-TiO₂ addition in concretes tends to reduce slump and increase the unit weight of fresh concretes. The resistivity and formation factor of fly ash concrete was improved by nano-TiO₂,” the report says.

“Moreover, the fact that the total pore volume and water absorptions of all types of concretes were reduced by nano-TiO₂ and nano-TiO₂ seems to be more beneficial in improving the frost resistance of fly ash concretes compared to ordinary portland cement (OPC) and slag concretes. It seems that the addition of nano-TiO₂ to improve the scaling resistance of concrete is more effective when concretes are previously cured at low temperature.”

The addition of nanosilica produced an improvement in the 28-day compressive and flexural strengths of concrete, especially when cured at low temperature. By adding nanosilica to concrete, porosity can be reduced.

“The overall scaling resistance of concretes fabricated for this study was good, while the addition of nanosilica can still reduce the surface deterioration of concretes exposed to

Sign up for
Concrete
SmartBrief

*The smart way to stay
on top of concrete
industry news.*

Created by SmartBrief in partnership with ACI, Concrete SmartBrief provides a daily e-mail snapshot of the concrete industry with news from leading global sources. Summaries of what matters to you, written by expert editors, to save you time and keep you informed and prepared.

Welcome to Concrete SmartBrief; sign up at:

www.smartbrief.com/ACI

freeze-thaw cycles and deicers,” the report concludes.

“The microstructural analysis suggests that the addition of nanoadditives reduces the cracks and porosity near the interfacial transition zone (ITZ), which can contribute to a higher strength of the bulk concrete. Further testing will be required to assess the effect on the air void system.”

The report concluded that, overall, the application of nanoadditives is beneficial, but the degree of benefit depends on the cementitious system.

“Based on the results of this project, it seems that the addition of nano-TiO₂ is more effective in concrete containing fly ash,” the report says. The improvement of scaling and freezing-and-thawing resistance of fly ash concrete with nano-TiO₂ may be related to the densification of microstructure (for example, strength of the paste matrix and a less-cracked and less-porous ITZ), a less-connected pore system, reduced porosity, and a finer and more well-distributed air void system. The report points out that results showed that an excess of nanoadditives might affect the air void system negatively and produce negative effects on scaling resistance. The optimal amount of nanoadditives depends on the mixture proportioning of the concrete pavement.

“Nanosilica addition has shown a great potential in terms of benefits for the performance of concrete pavements. However, further investigation will be required to determine the effect on the air void system. Results of both nano-TiO₂ addition and nanosilica addition effects on durability of concrete pavements were performed under lab conditions. Further investigation will be required to determine the effect of the use of nanoadditives in concrete pavement scaling resistance and freeze and thaw resistance when used in the field,” the report says.

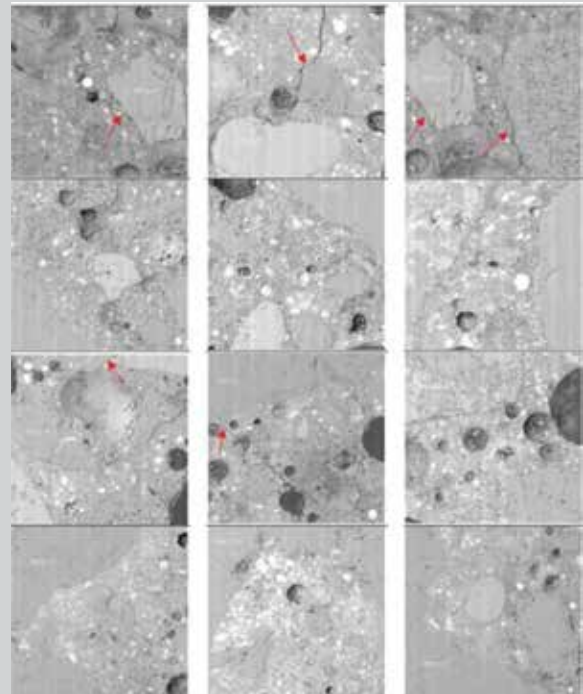
“The addition of nanoadditives (including nano-TiO₂ and nanosilica) has a potential in improving the scaling resistance of concrete pavement. The mechanisms of such improvements involve the accelerated hydration of cement pastes, a reduced and modified pore system (hence the denser microstructure), enhanced mechanical properties, and lowered water permeability of concretes based on experimental results.”

“However, high percentages of nanoparticles showed a detrimental effect in terms of scaling resistance. Water to cement ratio and presence of different supplementary cementitious materials affect the final effect of the nanoadditives on concrete scaling resistance. Thus, in order to determine the optimum amount of nanoadditives for a given mixture, further investigations should be performed.”

Reference

1. Huang, D.; Velay-Lizancos, M.; and Olek, J., “Improving Scaling Resistance of Pavement Concrete Using Titanium Dioxide (TiO₂) and Nanosilica,” *Joint Transportation Research Program Publication No. FHWA/IN/JTRP-2022/32*, Purdue University, West Lafayette, IN, 2022, 57 pp.

Selected for reader interest by the editors.



Scanning electron microscope images based on the observation of the interfacial transition zone (ITZ) for fly ash concrete samples (from Reference 1)

The ITZ is the boundary region between aggregates and cement paste. The first row shows extensive cracks in the ITZ of fly ash cured at room temperature. As highlighted by red arrows, those cracks either originate from the ITZ or propagate through the ITZ, both scenarios suggesting a possibly weak ITZ for such a specimen. Such crack patterns were not observed in a specimen with nano-TiO₂ addition, as shown in the second row. In this case, the ITZ appears to be denser, with fewer cracks and defects. Similarly, when comparing the images in the third and fourth rows (obtained from low curing temperature samples), more cracks were found in the reference specimen compared to the specimen with nano-TiO₂. It seems that the addition of nano-TiO₂ improves packing of the particles and thus enhances the quality of the ITZ.



Aram Kalousdian has several years of experience in construction journalism. He was publisher and owner of *Michigan Builder and Infrastructure* magazine and editor of *Michigan Contractor & Builder* magazine.

01

Los Nanoaditivos Pueden Mejorar la Durabilidad del Concreto

Por Aram Kalousdian

Un estudio realizado por el Programa Conjunto de Investigación del Transporte en West Lafayette, IN, EE.UU., ha concluido que el nano-dióxido de titanio (nano-TiO₂) y dos formas de nanosílice coloidal pueden acelerar el proceso de hidratación a edades tempranas de las pastas cementantes, particularmente de aquellas que contienen cenizas volantes y se curan a bajas temperaturas¹. El estudio fue financiado por el Departamento de Transporte de Indiana (INDOT, por sus siglas en inglés). Éste incluyó la fabricación, el curado y el acondicionamiento de las muestras en el laboratorio, seguido de análisis de microestructura, pruebas de resistencia mecánica y pruebas de durabilidad. La resistencia a la compresión y a la flexión de las mezclas de mortero y concreto también fue mejorada mediante la adición de nanopartículas. La incorporación de nanopartículas redujo la cantidad total y la conectividad de los poros presentes en las mezclas de concreto. Esto dio como resultado una disminución de la permeabilidad al agua del concreto, independientemente de los sistemas cementantes y las temperaturas de curado utilizadas. La resistencia de las mezclas de concreto a los ciclos de hielo y deshielo y a las delaminaciones también se mejoró mediante la adición de nanopartículas, especialmente en las mezclas que contienen cenizas volantes. Sin embargo, el estudio también encontró que un exceso de nanopartículas puede reducir la resistencia a la delaminación del concreto.

Se determinó que las resistencias a la compresión de 7 y 28 días de las mezclas de concreto mejoraron mediante la adición de nano-TiO₂, para todos los tipos de concreto estudiados (con y sin materiales cementantes suplementarios [SCM, por sus siglas en inglés]) y a varias temperaturas de curado. El efecto es más significativo en concretos que contienen cemento de escoria con una mayor relación agua-cemento (a/c). Los resultados de una prueba fundamental

de frecuencia de resonancia sugieren que el nano-TiO₂ podría reducir la porosidad de los compuestos cementantes, especialmente cuando se utilizan SCM.

“El estudio de las propiedades de durabilidad de los concretos implica la evaluación de los sistemas de poros, la permeabilidad y la estimación de la resistencia a las heladas de los concretos modificados por nano-TiO₂. Se encontró que la adición de nano-TiO₂ en concretos tiende a reducir el revenimiento y aumentar el peso unitario de los concretos frescos. La resistividad y el factor de formación del concreto con cenizas volantes mejoraron con nano-TiO₂”, dice el informe.

“Además, el volumen total de poros y la absorción de agua de todos los tipos de concretos se redujeron con nano-TiO₂, que además parece ser más beneficioso para mejorar la resistencia a las heladas de los concretos con cenizas volantes, en comparación con concretos de cemento portland ordinario (CPO) y concretos con escoria. Parece que la adición de nano-TiO₂ para mejorar la resistencia a la delaminación del concreto es más eficaz cuando los concretos se curan previamente a baja temperatura.”

La adición de nanosílice produjo una mejora en las resistencias a la compresión y a la flexión del concreto a los 28 días, especialmente cuando se cura a baja temperatura. Al agregar nanosílice al concreto, se puede reducir la porosidad.

“La resistencia general a la delaminación de concretos fabricados para este estudio fue buena, mientras que la adición de nanosílice aún puede reducir el deterioro de la superficie de concretos expuestos a ciclos de hielo-deshielo y agentes anticongelantes”, concluye el informe.

“El análisis microestructural sugiere que la adición de nanoaditivos reduce las grietas y la porosidad cerca de la zona de transición interfacial (ITZ, por sus siglas en inglés), lo que puede contribuir a una mayor resistencia del concreto en masa. Se requerirán más pruebas para evaluar el efecto en el sistema de vacío de aire”.

El informe concluyó que, en general, la aplicación de nanoaditivos es beneficiosa, pero el grado de beneficio depende del sistema cementante.

“Basados en los resultados de este proyecto, parece que la adición de nano-TiO₂ es más efectiva en el concreto que contiene cenizas volantes”, dice el informe. La mejora de la resistencia a la delaminación y al efecto hielo-deshielo del concreto con cenizas volantes con nano-TiO₂ puede estar relacionada con la densificación de la microestructura (por ejemplo, la resistencia de la matriz de la pasta y un ITZ menos agrietado y

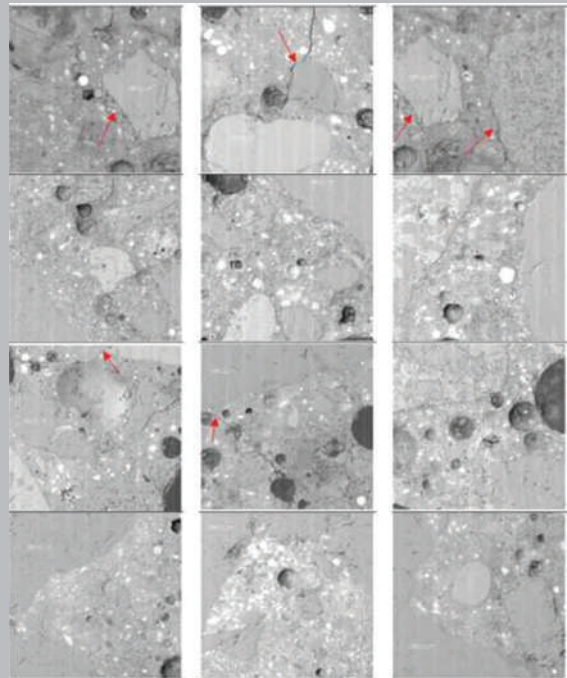
poroso), un sistema de poros menos conectados, una porosidad reducida y un sistema de vacíos de aire más fino y mejor distribuido. El informe señala que los resultados mostraron que un exceso de nanoaditivos podría afectar negativamente al sistema de vacíos de aire y producir efectos negativos en la resistencia a la delaminación. La cantidad óptima de nanoaditivos depende de la proporción de la mezcla del pavimento de concreto.

“La adición de nanosílice ha demostrado un gran potencial en términos de beneficios para el comportamiento de los pavimentos de concreto. Sin embargo, se requerirá más investigación para determinar el efecto en el sistema de vacíos de aire. Los resultados tanto de los efectos de adición de nano-TiO₂ y adición de nanosílice en la durabilidad de los pavimentos de concreto se realizaron en condiciones de laboratorio. Se requerirá más investigación para determinar el efecto del uso de nanoaditivos en la resistencia a la delaminación del pavimento de concreto y la resistencia al hielo y al deshielo cuando se usa en el campo”, dice el informe.

“La adición de nanoaditivos (incluidos el nano-TiO₂ y la nanosílice) tiene el potencial de mejorar la resistencia a la delaminación del pavimento de concreto. Los mecanismos de estas mejoras involucran la hidratación acelerada de las pastas de cemento, un sistema de poros reducido y modificado (de ahí la microestructura más densa), propiedades mecánicas mejoradas y menor permeabilidad al agua de los concretos a partir de resultados experimentales”.

“Sin embargo, altos porcentajes de nanopartículas mostraron un efecto perjudicial en términos de resistencia a la delaminación. La relación agua/cemento y la presencia de diferentes materiales cementantes suplementarios afectan el efecto final de los nanoaditivos sobre la resistencia a la delaminación del concreto. Por lo tanto, con el fin de determinar la cantidad óptima de nanoaditivos para una mezcla determinada, se deben realizar más investigaciones”.

La ITZ es la región limítrofe entre los agregados y la pasta de cemento. La primera fila muestra extensas grietas en la ZIT de cenizas volantes curadas a temperatura ambiente. Como se resalta con las flechas rojas, esas grietas se originan en la ZIT o se propagan a través de la misma, ambos escenarios sugieren una ZIT posiblemente débil para un espécimen de este tipo. Tales patrones de grietas no se observaron en una muestra con adición de nano-TiO₂, como se muestra en la segunda fila. En este caso, la ZIT parece ser más densa, con menos grietas y defectos. Del mismo modo, al comparar las imágenes de la tercera y cuarta fila (obtenidas a partir de muestras curadas a baja temperatura), se encontraron más grietas en la muestra de referencia en comparación con la muestra con nano-TiO₂. Parece que la adición de nano-TiO₂ mejora el empaquetamiento de las partículas y, por lo tanto, mejora la calidad de la ITZ.



Imágenes de microscopio electrónico de barrido basadas en la observación de la zona de transición interfacial (ITZ) para muestras de concreto de cenizas volantes (de la Referencia 1).

Referencia

1. Huang, D.; Velay-Lizancos, M.; y Olek, J., “Mejora de la resistencia a la incrustación del concreto de pavimento mediante dióxido de titanio (TiO₂) y nano-sílice”, Publicación del Programa Conjunto de Investigación de Transporte No. FHWA/IN/JTRP-2022/32, Universidad de Purdue, West Lafayette, IN, 2022, 57 págs.

Aram Kalousdian tiene varios años de experiencia en el periodismo de la construcción. Fue editor y propietario de la revista Michigan Builder and Infrastructure y editor de la revista Michigan Contractor & Builder.



Título original en inglés:
**Nanoadditives Can Improve
Concrete Durability**

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo
de República Dominicana**



Traductor:
Ing. Piero Caputo



Revisora Técnica:
**Ing. Damaríel
Cáceres**