ESPECIFICACIONES POR DESEMPEÑO PARA EL CONCRETO Y POTENCIAL DE APLICACIÓN EN COLOMBIA

Ing. Rodrigo N. Quimbay Herrera, MSc.

Ingeniero Civil Universidad Nacional de Colombia, Magister en Ingeniería Civil, Ingeniería y Gerencia de la construcción, Universidad de Los Andes. Estancia de investigación e intercambio tecnológico Instituto Chileno del hormigón ICH, ministerio de la construcción de Cuba Micons y Universidad de Sheerbrooke Quebec, Canada. Se ha desempeñado en la gerencia técnica de la industria del concreto y como asesor-consultor de gerencia en la industria de la construcción y del concreto. Ha sido consultor e interventor en proyectos de infraestructura y edificaciones de empresas de construcción en Colombia. Amplia experiencia en gestión de innovación, investigación y desarrollo con empresas de la construcción y sector industrial de materiales para construcción del sector privado . Docente y consultor en extensión facultad de ingeneiria de la Universidad Nacional de Colombia, coordinación de proyectos de Grado Universidades Nacional, Piloto, Javeriana, Militar, America y Minuto de Dios. Miembro de los comité técnicos del Icontec en construcción sostenible, innovación y concretos. Miembro de los comités internacionales de normalización ASTM C09 e ISO TC71. Ha sido conferencista de la Universidad Nacional de Colombia, Sociedad colombiana de ingenieros, Icontec, Aicun, universidad Piloto de Colombia, Escuela colombiana de ingeniería. Gerente de la firma ARQCONSTRUCCION dedicada a la Consultoría en gestión y construcción, materiales y estructuras, patología de la construcción y del concreto, Interventoría y Supervisión Técnica de Proyectos.

RESUMEN

El concreto de alto comportamiento no se puede especificar en la misma forma que el hormigón normal porque ciertas consecuencias prácticas de la reacción de hidratación que no afectan significativamente las propiedades del hormigón habitual ya no pueden ser ignorados en el caso del hormigón de alto rendimiento (HPC). El HPC debe ser curado con agua con cuidado para eliminar el agrietamiento por contracción plástica y mitigar el desarrollo de la retracción autógena.

El roceado por niebla de agua se deben utilizar para eliminar el riesgo de contracción plástica en el HPC. Aditivos reductores de retraccion, curado interno y compuestos de expansión se puede utilizar para mitigar el riesgo de agrietamiento debido a la contracción autógena. El curado de agua aplicado externamente sigue siendo imprescindible para mejorar la durabilidad y resistencia del hormigón.

En un futuro próximo, se especificará cada vez más el HPC para las características distintas de 28 días resistencia a la compresión para construir estructuras de hormigón que se adapten mejor a las necesidades de los diseñadores y en Colombia esta condición se vera cada vez mas.

INTRODUCCIÓN

Este articulo recoje las recomendaciones del Dr. Pierre Claude Aitcin, del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Sherbrooke en Quebec-Canada.

Con el fin de especificar, y curar adecuadamente el hormigón de alto rendimiento (HPC) para construir estructuras duraderas, sostenibles y económicas, es importante entender a fondo la naturaleza de la reacción de hidratación, sus consecuencias tecnológicas y las soluciones prácticas para mitigar algunos de sus efectos indeseables. Por tanto, es necesario volver al trabajo pionero realizado por Le Chatelier y Powers.

El experimento de Le Chatelier

Hace más de 100 años de Le Chatelier observó el endurecimiento de la pasta de cemento en el aire y en el agua, como se ve en la figura 1. Unos días más tarde, se dio cuenta de que:

- La pasta de cemento endurecida que se endureció en el aire encogido;
- La pasta de cemento endurecido que se presento bajo el agua había aspirado parte del agua que se extendía por encima de ella;
- Después de un tiempo, el recipiente que contiene la pasta de cemento curado bajo agua se rompió.

A partir de este sencillo experimento, Le Chatelier concluyó que:

- El volumen aparente de una pasta de cemento de endurecimiento en el aire se contrae;
- El volumen absoluto de una pasta de cemento de endurecimiento bajo agua disminuye;
- El volumen aparente de una pasta de cemento de endurecimiento bajo agua se hincha.

Antes de retirarse en 2002, le pregunté a uno de mi doctorado estudiantes, Mladenka Saric-Coric, para reproducir el experimento de Le Chatelier con cementos modernos. Hemos seleccionado 2 cementos, 3 diferentes w / c proporciones y añadimos un nuevo tipo de curado - curado bajo un aceite hidráulico muy fluida. Encontramos exactamente los mismos resultados que Le Chatelier, pero cuando la pasta de cemento endurecida se curó bajo aceite, el jarrón no se rompió, a pesar del hecho de que una parte del aceite penetraron dentro de la pasta de cemento de endurecimiento.

Para concluir, reacción de hidratación siempre resulta en una contracción del volumen absoluto de la pasta de cemento hidratado (se estima que 8% en Le Chatelier), pero su volumen aumenta aparentes o disminuye de acuerdo con sus condiciones de curado.

Unos cincuenta años más tarde, Powers hizo una serie de experimentos destinados a estudiar la reacción de hidratación cuantitativamente. Resultados Powers 'confirmaron los hallazgos de Le Chatelier, pero también proporcionaron valores numéricos asociados a la reacción de hidratación, como:

- La cantidad de agua ligada químicamente en los hidratos corresponde con w / c proporción igual a 0,22;
- Sin embargo, la cantidad de agua necesaria para hidratar completamente el cemento Portland corresponde a w / c proporción de 0,42 debido a que una cierta cantidad de agua está ligada físicamente a los hidratos y ya no está disponible para participar en la reacción química.

En consecuencia, con el fin de tener totalmente hidratado cemento Portland, es necesario introducir una cierta cantidad de agua que no reacciona químicamente con él, pero que estará fuertemente ligada a las partículas de cemento. Poderes llamados esta agua, el "gel de agua". (2).

La presentación de Jensen y de Hansen de los resultados de la resistencia, en 2002, Jensen y Hansen (3) propusieron una representación gráfica muy interesante de los resultados de energía. En el eje x, que representaban la cantidad relativa de cemento hidratado mientras que en el eje y, que representaban el volumen relativo de los productos de hidratación. En particular, muestran que cuando hay una fuente externa deagua, hidratación completa puede lograrse a aw / c de 0,36, mientras que 0,42 es el necesario w / c encontrado por Powers para un sistema cerrado sin ninguna fuente de agua externa.

Cuando una pasta de cemento que tiene una relación a/ c de 0,36 hidratos en presencia de una fuente externa de agua (externa a la pasta), teóricamente cuando se alcanza la hidratación completa, la pasta de cemento hidratado es un sólido poroso compuesto no de gel de cemento y agua gel (. Figs 2 y 3). Por debajo de este valor crítico de 0,36, es imposible para hidratar completamente todo el cemento Portland; algunas partículas de cemento permanecerán no hidratado

La disminución de la relación w / c por debajo de 0,36. La experiencia demuestra que la resistencia a compresión de concreto sigue aumentando cuando la relación w / c disminuye por debajo de este valor crítico de 0.36. ¿Cómo es esto posible cuando la hidratación se detiene una vez que se alcanza este valor crítico? Como se muestra recientemente por Bentz y Aïtcin (4), menor es la relación w / c, las más estrechas las partículas de cemento en la pasta de cemento. Cuanto más cerca de las partículas, más fuertes los enlaces creados por los hidratos. Por otra parte, no es necesario el desarrollo de una gran cantidad de "pegamento" en una baja w / c pegar para crear fuerza.

CONTRACCIÓN AUTOGENA

En 1934, Lynam (5) define contracción autógena como la contracción observada en ausencia de secado a una temperatura constante en un hormigón sin carga (y por supuesto, en la ausencia de cualquier fuente externa de agua). Hoy en día, está bien establecido que la retracción autógena es una consecuencia de la contracción química que se desarrolla durante la reacción de hidratación. El volumen absoluto de los hidratos es menor que el volumen de las partículas anhidro y agua que han reaccionado. Cuando esta contracción volumétrica está restringido por la estructuración de la pasta, se crea una porosidad muy fina en la que se desarrollan los meniscos (cuando no hay una fuente externa de agua que puede llenar este porosidad). El más pequeño de los meniscos, la más fuerte de las fuerzas de tracción desarrollados y mayor será la retracción autógena. Pero, cuando una fuente externa de agua (externa a la pasta de cemento) es disponible, se llena la porosidad creada por reacción de hidratación de manera que ya no hay ninguna meniscos en la pasta de cemento. En consecuencia, ya no hay ninguna fuerza de tracción y si no hay fuerzas de tracción, ya no hay ninguna contracción autógena (Fig. 5). Además, el agua aspirado por la pasta de cemento hidratante puede hidratar las partículas de cemento anhidras. Al final del proceso, la pasta de cemento hidratado es un sólido no poroso.

El uso de materiales cementicios suplementarios

La sustitución de un poco de cemento Portland por uno o una combinación de materiales cementantes suplementarios es muy a menudo beneficioso desde un punto de vista reológico al hacer HPC. La experiencia demuestra que, a veces, es difícil de controlar totalmente la reología de la mezcla durante 1 h 30 min al usar algunas combinaciones de puro cemento Portland y superplastificante. De hecho, en la actualidad, la mayoría de los fabricantes de cemento optimizar las características de su clinker y el contenido de yeso y la finura de su cemento para obtener una alta resistencia cubo temprano a aw / c de aproximadamente 0,50. En consecuencia, favorecen alta C3A y contenido C3S por su clinker y una alta finura de su cemento, que es lo contrario de lo que se debe hacer si el objetivo de su proceso de optimización es mejorar las características reológicas de baja w b relación concreta /. En la actualidad, aglutinantes binarios, ternarios y cuaternarios se utilizan comúnmente para producir HPC.

DEFINICIONES DE HPC

El hormigón de alto rendimiento es un hormigón que tiene una relación a/cmteb igual o inferior a 0,35. Es un hormigón muy sensible a plástico y contracción autógena. Tal concreto no contiene suficiente agua para hidratar completamente todas sus partículas de cemento, y obtiene su notable fortaleza de la proximidad de sus partículas de unión.

COMPATIBILIDAD ADITIVO - CEMENTO

¿Por qué algunas combinaciones de cemento / superplastificante son compatibles y otros no lo son?

La experiencia demuestra que no todas las combinaciones de cemento / superplastificante son igualmente eficientes en la dispersión de partículas de cemento. (6) Algunas combinaciones se dice que son compatibles debido a que mantienen asentamiento del concreto el tiempo suficiente para facilitar la colocación en el campo. Sin embargo, en algunos casos, incluso cuando los aumentos de dosificación superplastificante, es imposible mantener la caída inicial durante más de 15 minutos. Estas combinaciones se dice que son incompatibles.

La experiencia también demuestra que algunas combinaciones de cemento / superplastificante se dice que son robustos porque una pequeña variación en la dosis de cemento, agua y superplastificante tiene poco efecto sobre el comportamiento reológico de hormigón. Por otro lado, en otras combinaciones, una ligera variación en las dosis de cemento, agua y superplastificante tiene un efecto catastrófico en la reología de hormigón, lo que resulta en una pérdida drástica de asentamiento o segregation.From un punto de vista industrial, es más seguro para trabajar con una combinación poco menos eficiente que es robusta que con una combinación muy eficiente, que no es robusto en absoluto.

Estos comportamientos diferentes combinaciones de cemento / superplastificante son debido al hecho de que no sólo las fases principales de cemento Portland interactúan con las moléculas de superplastificante, sino que también interactúan con componentes menores, tales como calcio y sulfatos alcalinos, como se ve en la Figura 6. Como cementos están hechos de productos naturales y combustibles que contienen diferentes cantidades de impurezas, su composición de fase y la composición de sus componentes menores varían de un cemento a la otra. Durante mi carrera docente en la Universidad de Sherbrooke, hice hincapié en que es imposible de hacer exactamente lo mismo clínker Portland en dos plantas diferentes. Más aún, es bastante difícil para producir el mismo clinker durante todo el año en el mismo horno. Las impurezas de la materia prima y el combustible, así como las condiciones termodinámicas dentro de la zona de clinkerización tanto influyen en las propiedades de unión de clinker de cemento Portland.

Además, se pide a los productores de cemento para comprobar la variabilidad de su producción utilizando una pasta de cemento o un mortero con w / c de alrededor de 0,50, que es, en mi opinión, demasiado alto. En una mezcla de este tipo, es la alta cantidad de agua usada que controla la reología de la pasta o el mortero en lugar de la interacción entre las partículas de cemento y agua. En segundo lugar, los productores de cemento están obsesionados con la resistencia inicial de los pequeños cubos de mortero que están probando, para que optimizan la composición de la fase de su cemento, la molienda, la cantidad de sulfato de calcio y su solubilidad para obtener la más alta resistencia temprana posible. Se olvidan de revisar las consecuencias de su elección en el comportamiento reológico del hormigón hecho con su cemento. De hecho, en lo que se refiere a la reología de la pasta o mortero, sólo comprobar el flujo inicial (10 minutos) y Ajuste inicial de 2 o 3 horas más tarde. Normas de aceptación actuales para cemento ignoran los primeros 1 ½ horas del proceso de hidratación, que es un momento crucial desde el punto de vista práctico. Es durante este intervalo de tiempo que el hormigón es transportado y colocado. Esta es una gran debilidad de las normas de aceptación de cemento actuales que tendrán que corregirse tan pronto como sea posible.

Un último punto que no favorece la compatibilidad entre polisulfonato y algunos cementos es que demasiados especificadores están convencidos de que la reacción álcali / agregado es la más peligrosa y común de las enfermedades concretas y que debe ser evitado a toda costa. Esto es por qué tantos especificadores especifican sistemáticamente bajo contenido de álcalis del cemento, incluso cuando no existe un solo agregado potencialmente reactivo en su área. Esta actitud también se ve favorecida por algunos productores de cemento que tienen la suerte de aprovechar la materia prima que tiene un bajo contenido de álcali y que basan la comercialización de su cemento Portland en su muy bajo contenido de álcalis. No es cierto que un cemento Portland con un contenido alcalino de 0,2% es más seguro que uno con un contenido de 0,6%, el límite máximo establecido para calificar un cemento como un cemento alcalino baja. Sin embargo, mediante el uso de un cemento con un muy bajo contenido de álcali, la asistencia de los sulfatos alcalinos muy solubles, que son tan útiles en controlando la hidratación C3A, se elimina.

Personalmente, estoy convencido de que la reacción álcali / agregado es una causa muy menor de deterioro del concreto en comparación con el uso de un alto cociente w / c. Estoy convencido de que en la actualidad hay otras maneras eficaces de evitar la reacción álcali / agregado de especificar un cemento alcalino bajo (eliminación de áridos potencialmente reactivos y el uso de materiales cementantes suplementarios). Personalmente, me gusta cementos Portland con un contenido alcalino de aproximadamente 0,8%, 0,4% de los cuales son rápidamente solubles (sulfatos alcalinos).

Polisulfonatos.

Debido superplastificantes han sido componentes clave de hormigón de alto rendimiento, para aproximadamente 10 años se estudió la compatibilidad y la robustez de polisulfonatos en profundidad. (9, 10) Este esfuerzo de investigación resultó en el nacimiento de una nueva ciencia: la ciencia de los aditivos.
Polisulfonatos dispersan las partículas de cemento esencialmente por repulsión electrostática, pero a través de su terminación SO3, pueden reaccionar con C3A. Cuando un cemento Portland es rica en C3A, y cuando esto C3A es muy reactivo (forma cúbica), así como cuando el sulfato de calcio añadido durante la molienda no se disuelve rápidamente (anhidrita natural, yeso) y el cemento tiene un bajo contenido de sulfato alcalino (bajo cemento alcalino, cemento blanco) una cierta cantidad de polisulfonato es fijado por el C3A y se desvía de su función de dispersión de modo que la caída inicial se puede perder rápidamente.

Por supuesto, la superficie específica del cemento es un factor muy importante, ya que la acción de polisulfonato es superficial: el más fino es el cemento, mayor es el área de superficie específica y mayor es la superficie a ser neutralizado.

Además, como grupo SO3 funcional de polisulfonato puede reaccionar con C3A y ser desviados de su función de dispersión, es mejor introducir polisulfonato lo más tarde posible durante la mezcla. Suficiente tiempo se debe dar a la SO4 - - iones liberados por los sulfatos alcalinos y las diferentes formas de sulfato de calcio introducido durante la molienda final del cemento para reaccionar con los sitios C3A presentes en la superficie de las partículas de cemento para formar etringita. Cuando el polisulfonato se introduce en una etapa posterior, poco de él reaccionará con C3A, y su acción dispersiva será mejor utilizado.

No siempre es posible retardar la introducción del superplastificante, en particular en mezclas de B / W bajos. En tal caso, una cantidad de sacrificio de superplastificante reductor de agua o puede ser incorporado dentro del hormigón en el comienzo de la mezclaproceso. La función de dispersión de esta primera cantidad de polisulfonato no dura mucho tiempo, porque rápidamente, la mayoría de ella reacciona con C3A. Pero cuando se introduce una segunda cantidad de polisulfonato en el hormigón justo antes del final de la mezcla, que funcionará casi exclusivamente como un dispersante. En la industria del hormigón, esta técnica se conoce como la técnica de doble introducción.

Debido a la gran cantidad de investigaciones realizadas en los años noventa para comprender el modo de acción de polisulfonato en el cemento Portland, se ha encontrado que las combinaciones de cemento / polisulfonato más compatibles y robustos se obtuvieron con cementos que tiene las características siguiendo:
- Un bajo contenido de C3A (6 a 8%);
- Sulfatos alcalinos suficientemente solubles (0,4 a 0,6%);
- Las formas más rápidamente soluble de sulfatos de calcio hemihidrato (o el llamado anhidrita soluble);
- Una finura moderada (inferior a 400 m2 / kg).

En el otro lado del espectro, los cementos peores fueron aquellos con:
- Un alto contenido de C3A (de 8 a 12%);
- Bajo contenido en álcalis equivalente menor a 0,6%;
- La forma menos rápidamente soluble de sulfato de calcio (anhidrita natural, yeso);

- Una alta finura.

En consecuencia, el uso de polisulfonatos lo general no se recomienda con cementos blancos, excepto cuando se pueden colocar muy rápidamente debido a los cementos blancos son ricos en C3A (más del 12%) y bajo en álcalis. En este caso, debido a su color lechoso, se recomienda el uso de polimelamina porque el color marrón de polinaftaleno da un color ligeramente amarillento con el hormigón.

En términos de superplastificante, polynaphthalenes con un alto grado de sulfonación en la posición son los más eficientes. Su grado óptimo de polimerización se ha encontrado para ser alrededor de 10 y su grado de ramificación debe ser baja (baja viscosidad).

Polisulfonatos no son muy caros: su coste de producción no está directamente ligada a la de petróleo sino más bien a la de carbón. Su uso hace que sea fácil para arrastrar aire y son robustos. Sin embargo, el rendimiento de polinaftaleno se ve afectada por la temperatura del hormigón fresco, pierden algo de su eficiencia cuando la temperatura del hormigón fresco está por debajo de 10oC, que no es el caso para polimelamina. Lignosulfonato y polinaftaleno fraguado y endurecimiento tanto retraso, pero no polimelamina.

Superplastificantes basados en polisulfonato son comúnmente utilizados por la industria de concreto de América del Norte debido a que hay pocas combinaciones incompatibles, excepto tal vez con un poco de cemento alcalino baja. La mayoría de clinker americanos son los llamados de tipo I / II escorias que contienen de 6 a 8% de C3A. Por otra parte, la mayor parte del hormigón utilizado en el norte de los Estados Unidos y en Canadá son de concreto con aire incorporado y es fácil de desarrollar una red estable de burbujas de aire que tienen un factor de separación baja con polisulfonatos. Además, la industria del prefabricado en América del Norte es un lugar pequeño sector que tiene poca influencia en el consumo total de superplastificante.

La situación es totalmente diferente en Europa:
- En general, la industria de concreto utiliza menos aditivos que en América del Norte;
- Las escorias producidas son más ricos en C3A (de 8 a 12%), de modo que las combinaciones incompatibles robustos y no son más frecuentes;
- La industria de los prefabricados, que es bastante fuerte, es el mayor usuario de superplastificantes y sus influencias elección de consumo de mezcla;
- Por último, al aire arrastrado no se utiliza tan sistemáticamente como en América del Norte de modo que no es un criterio de selección esenciales.

Policarboxilatos.

Los Policarboxilatos constituyen la familia más reciente de superplastificantes. Se dispersan las partículas de cemento esencialmente por repulsión estérica en lugar de por la repulsión electrostática como es el caso de polisulfonatos. Esto significa que todo el conocimiento desarrollado en el estudio de la interacción entre polisulfonatos y cemento Portland es de ninguna utilidad en el caso de polycarboxilate basa-superplastificantes. El grupo funcional de estos polímeros es su terminación carboxílico, COOH-. Policarboxilatos también se utilizan ampliamente como agente dispersante en detergentes y diversas formulaciones de base acuosa y procesos.

Como la configuración de policarboxilatos es más compleja que la de polisulfonatos, la industria de aditivos está todavía tratando de determinar los parámetros clave de configuración de los polímeros 'que afectan a su eficacia para dispersar partículas de cemento. Se han hecho grandes avances, pero no está tan seguro de que la última palabra se ha dicho en ese dominio.

Los policarboxilatos primera utilizados como dispersantes en concreto resultaron ser muy eficiente en una dosis que era a menudo dos veces menor que la de los polisulfonatos más eficientes. Sin embargo, algunos de estos primeros polímeros se encontraron para arrastrar una cantidad excesiva de aire de modo que un agente desentrenamiento aire tenía que ser mezclado con ellos.

Desde un punto de vista químico, un polycarboxilate se compone de una cadena principal (backbone), en el que se injertan dos cadenas laterales. Debido a que no contenían una terminación sulfónico que podrían reaccionar con C3A sitios activos, se pensaba que su uso sería eliminar los problemas de compatibilidad, que por desgracia no es el caso. Algunas combinaciones de cemento / poliacrilato son reportados a ser no compatible en la literatura debido a que algunas moléculas de poliacrilato pueden reaccionar con C3A a través de su terminación carboxílico. Superplastificantes de poliacrilato comerciales se venden con un contenido de sólidos de 15 a 40%.

Para un cemento dado, la dosis de poliacrilato en el punto de saturación (en una base de sólidos) es generalmente de 1/3 a ½ de un polinaftaleno o polimelamina. Esta relación es definitivamente diferente sobre una base líquida debido a que el contenido de sólidos de poliacrilatos y polisulfonatos suelen ser diferentes.

Sobre una base de sólidos, poliacrilatos son mucho más eficientes que polisulfonatos pero como su precio unitario es mucho mayor, una evaluación debe hacerse en cada caso en particular para encontrar la combinación más económica. Como policarboxilatos son menos sensibles al contenido de C3A y su reactividad, su uso es muy común en el prefabricado Europea la industria, que utiliza contenidos finos ricos en C3S y C3A para obtener alta resistencia inicial. Hasta ahora, existen algunos poliacrilatos con los que no es fácil de desarrollar una red estable de burbujas de aire que tienen un bajo factor de separación para proteger concreto contra los ciclos de congelación-descongelación y la acción de la sal de deshielo, por lo que su uso no es muy popular en el premezclado industria del hormigón de América del Norte.

ESPECIFICANDO EL HPC

Característica de diseño. Como para el hormigón de costumbre, la mayoría de las veces, el HPC se especifica en la base de su resistencia a la compresión de 28 días. Es una manera muy simple para especificar HPC y es fácil de comprobar el cumplimiento de lo concreto a la especificación.

El HPC puede ser probado en 100 x 200 mm o cilindros de 100 x 100 x 100 mm cubos con el fin de limitar la carga de rotura. Pero HPC no puede ser probado como el hormigón usual: compuesto taponado no debe ser utilizado para hacer frente a los extremos en contacto con las platinas de la máquina de ensayo. (12)
Por otra parte:

- Las caras de la muestra en contacto con los platos de la prensa deben ser absolutamente paralelo (frente)
- La carga aplicada debe ser perfectamente centrada
- La máquina de ensayo debe ser muy rígida
- Las muestras deben ser probadas dentro de una jaula de protección, porque las fallas pueden ser explosivos.

Soy consciente de unos pocos casos en que se especifique otra característica de resistencia a la compresión.
En el caso de una cubierta del puente, que era una permeabilidad de iones de cloruro inferior a 1.000 culombios que era la única especificación requerida. Fue posible lograr tal una baja permeabilidad de iones cloruro mediante un hormigón de látex o de un humo de sílice mezclado de cemento. La cubierta del puente fue construido utilizando el humo de sílice mezcladacemento. Recientemente, los resultados de cloruro de ion permeabilidad ha sidoseveramente criticada por Krieg

En otros dos casos, el módulo de elasticidad era la única especificación solicitada. En el caso de la construcción de dos de Union Square en Seattle que se ha especificado que el módulo elástico tenía que ser mayor que 50 GPa. En el caso de la Torre de la Libertad en Nueva York, fue especificado que el módulo elástico tenía que ser mayor que 43 GPa (12). En ambos casos, la rigidez de la HPC era más importante para el diseñador de la resistencia a la compresión a fin de mitigar el efecto del viento sobre la estructura. En tales casos, la elásticas módulo del agregado es fundamental, ya que influye en gran medida el módulo de elasticidad del hormigón. Nielsen y Aïtcin (13) tienen demostrado que un 0,27 w / b concreto puede tener un módulo de elasticidad que varía entre 26 y 60 GPa sólo cambiando la naturaleza de el agregado grueso, mientras que su resistencia a la compresión sólo varió 74 a 97 MPa.

En el caso del rompehielos de las pilas del Puente confederaciones, fue la resistencia a la abrasión de hielo que era el selecto criterios para el diseño. Se encontró que un 0,25 w / b relación de aire arrastrado hormigón que contiene entre 4 a 5 por ciento arrastrado aire hecha con un aglutinante ternaria (82% de clinker, 8% de humo de sílice y 10% de cenizas volantes este criterio tiene que ser seleccionado cuidadosamente, ya que puede tener importantes consecuencias técnicas y financieras (16).

Retracción plástica
Como se dijo anteriormente, los HPC son muy sensibles a la contracción plástica, ya que se mezclan con una cantidad mínima de agua, que a menudo contienen alguna hormiga humo de sílice que no sangran. Con el fin de eliminar el riesgo de contracción plástica la ciudad de Montreal tiene especificaciones muy estrictas de colocación. HPC tienes que estar colocado en la noche, 1 hora después de la puesta del sol y de la superficie de la HPC fresca tiene que ser agua curado con boquillas de niebla justo después de su terminación (boquillas de niebla del tipo utilizado en los viveros). Dado que este procedimiento de curado se ha aplicado, por contracción plástica se ha erradicado.

Membrana de curado no se puede utilizar para evitar la contracción de plástico porque después de el endurecimiento de la HPC se evitará que el agua externa para penetrar la piel de hormigón para mitigar el desarrollo contracción autógena. Por el contrario, la evaporación-retardador se puede utilizar. La película monomolecular de alcohol alifático se lava cuando se llevará a cabo el endurecimiento de agua externo.

Retracción autógena

Retracción autógena es el talón de Aquiles de HPC, ya que comienza a desarrollarse tan pronto como la hidratación comienza en un momento en resistencia a la tracción HPC es muy baja. Si el desarrollo contracción autógena no está bien tratada, resulta en una rápida y grave agrietamiento de la superficie de hormigón. Afortunadamente, hay varias maneras de mitigar el efecto de la retracción autógena, como:

- El uso de un aditivo reductor de la contracción;
- El uso de curado interno
- El uso de agentes expansivos.

Aditivos reductores de retracción disminuyen la tensión superficial de la solución intersticial actual de la HPC endurecimiento así como el ángulo de contacto de los meniscos. En consecuencia, reducen las fuerzas de tracción en los meniscos que es la causa primaria de la contracción autógena.

El curado interno consiste en incorporar en la mezcla un poco de arena saturada de peso ligero que actuará como una fuente bien dispersa de agua que llenar la porosidad creada por la contracción química de la pasta de cemento durante su endurecimiento. Esta fuente de agua es interna al hormigón, pero externo a la pasta de cemento.

El curado interno es un medio muy eficaz para mitigar el desarrollo de la retracción autógena porque lucha contracción autógena a su origen: el desarrollo de meniscos en la pasta de cemento.

Agentes expansivos se pueden utilizar para crear una hinchazón de la pasta de cemento igual a la contracción autógena. Esta tecnología se utiliza en Japón y en Italia (17, 18)

CURADO CON AGUA EXTERNA

Todo HPC debe recibir un curado de agua externo con el fin de reforzar su piel debido a la durabilidad de una estructura de hormigón es altamente dependiente de la calidad de su piel. Piel hormigón es la barrera que se enfrenta el medio ambiente externo. Kreijger (19) ha demostrado que la piel de hormigón tiene una composición totalmente diferente de la del hormigón en el corazón de un elemento estructural: es más rica en cemento y mortero. Si no es así el agua curada, se presenta una estructura porosa y microcracked debido a los efectos acumulativos de la retracción autógena y secado e hidratación insuficiente.

Todos los libros de texto y las normas insisten en la importancia de curado de agua externo, pero en el campo concreto es generalmente agua mal curada. Durante mucho tiempo, traté de entender por qué el hormigón era agua tan mal curada para encontrar, finalmente, que el concreto no estaba adecuadamente el agua cura porque los contratistas no se les pagaba específicamente para cura de agua de concreto. Cuando los contratistas se les paga específicamente para cura de agua de concreto y que pueden obtener beneficios fácil salir de ella, se vuelven celosos. El costo de una lata de curado de agua externo representa 0,5 a 1,5 por ciento del costo del proyecto (20).

Algunas personas argumentan que como el hormigón de alto rendimiento tienen una microestructura muy denso, no es necesario que el agua cura. Estoy de acuerdo con esa opinión, porque el primer objetivo de un
curado de agua externo no es aumentar la resistencia del concreto, sino más bien para proteger los elementos estructurales de la ataque de ambientes agresivos: carbonatación, agua de mar, sulfatos, congelación y descongelación, sales de deshielo, etc .. y también, lo que se olvida con demasiada frecuencia en el caso de HPC, desde el desarrollo de una contracción autógena incontrolada.

La experiencia demuestra que la profundidad de la eficiencia de un curado de agua externa para un 0,35 w / c de hormigón es de aproximadamente 50 mm en la medida de contracción autógena como se refiere. Por lo general, 50 mm representa la distancia de la primera fila del acero de refuerzo de las formas.

Por supuesto, si el ambiente es particularmente duro, barras de refuerzo hechas de fibra de vidrio se puede utilizar para evitar cualquier oxidación.

Deslizado

El eHPC puede ser usado en el slipformed (Plataforma Marino Hibernia). (12, 21) En una operación de encofrado deslizante, es fundamental que el hormigón en el encofrado deslizante se endurezca a la misma velocidad con el fin de salir del encofrado deslizante con la misma consistencia y resistencia. Si todo alrededor de la estructura slipformed, la temperatura no es uniforme, se producen problemas cuando el hormigón salir del encofrado deslizante, en las partes frías que desaparezca porque el hormigón es demasiado blando y se pega a la forma en las partes calientes, y se erosiona la superficie si es demasiado duro. La solución de este problema es muy simple, los moldes de encofrado deben ser recuperados con un material aislante. Este material aislante aísla el hormigón en el interior del encofrado deslizante de la influencia de la temperatura externa. Si el hormigón es lanzado a una temperatura inicial constante, permite que se cierra el encofrado deslizante con aislamiento a una temperatura y consistencia constante. (22)

CONCLUSIÓN

Los HPC son los hormigones más fuertes. Debido a su baja relación a / c, los HPC son muy sensibles a la retracción plastica y contracción autógena para que la aplicación de las especificaciones habituales que trabajaron durante tantos años para hormigones normales no se puede prescribir más. Los HPC deben recibir procedimientos especiales de curado para evitar el agrietamiento debido al desarrollo incontrolado retraccion plástica y contracción autógena.

Boquillas de niebla son muy eficientes para combatir la contracción plástica. La retracción autógena puede ser mitigada mediante aditivos reductores de retracción, curado interno o agentes expansivos. En cualquier caso, el uso de una de estas técnicas no elimina la necesidad de un curado de agua externa para reforzar la piel de hormigón.

Con el fin de estar seguros de que el hormigón estará bien curado, es importante contar con contratistas capacitados para hacerlo. Si pueden hacer una ganancia fácil del concreto curado se vuelven celosos.

En las operaciones de encofrado deslizante, el uso de moldes de encofrado de hormigón con aislamiento permite evitar el efecto perjudicial de un diferencial alto de temperatura externa.

En el futuro, el HPC se especificara para las características distintas de su resistencia a la compresión de 28 días debido a que hay casos en los que otra característica es más importante para el diseñador o el propietario de la resistencia a la compresión de 28 días. En consecuencia, cada vez es imperativo para entender mejor la reacción de hidratación y sus consecuencias, así como el papel de los diferentes materiales utilizados al hacer el HPC para especificar correctamente el HPC más eficientemente y económicamente.

Referencias

1. Aïtcin, P.C., (2008), Binders for durable and sustainable concrete, Taylor and Francis, London, 500 p.
2. Neville, A.M., (1995), Concrete properties, Fourth edition, Longman Group Ltd, London, 844 p.
3. Jensen, O., Hansen, F., (2001), Water-entrained cement-based materials: principle and theoretical background, Cement and Concrete Research, Vol. 31, No 4, pp. 647-654
4. Bentz, D.P., Aïtcin, P.C., (2008), Hidden meaning of water-cement ratio, Concrete International, Vol. 30, No 5, pp. 51-54
5. Lynam, C.G., (1934) Growth and movement in Portland cement concrete, Oxford University Press, pp. 25-45
6. Aïtcin, P.-C., Jolicoeur, C., MacGregor, J., (1994) Superplasticizers: how they work and why the occasionally don't, Concrete International, Vol. 16, No. 5, pp. 45-52.
7. Nielsen, A.V., Aïtcin, P.C., (1992),Properties of high-strength concrete containing light-, normal- and heavyweight aggregate, Cement Concrete and Aggregates, Vol. 14, No 1, pp.64-66
8. Aïtcin, P.-C., (2007) Performance standard: Are we testing the right performance, 12th International Congress on the Chemistry of Cement, Montréal, Paper T7-01.1, 10 p.
9. Kim, B.G., (2000) Compatibility between cement and superplasticizers, Ph.D. thesis No 1205, Université de Sherbrooke, 237 p.
10. Kim, B.G., Jiang, S., Jolicoeur, C., Aïtcin, P.-C., (2000) The absorption behaviour of PNS superplasticizers and its relation to fluidity of cement pastes, Cement and Concrete Research, Vol. 3, pp. 887-893.

11. Spiratos, N., Pagé, M., Mailvaganam, N.P., Malhotra, V.M., Jolicoeur, C., (2003) Superplasticizers for concrete, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada, 322 p.
12. Aïtcin, P.C., (1998), High-performance concrete, E and FN SPON, London, 591 p.
13. Krieg, W., (2007) Rapid chloride permeability testing – a critical review, Concrete Engineering International, Vol. 11, No. 2, pp. 48-49.
14. Ghods, P., Alizadeh, R., Chini, M., Hoseini, M., Ghalibafian, M., Shekarchi, M., (2007), Durability-based design in the Persian Gulf, Concrete International, Vol. 29, No. 12, pp. 50-55.
15. ACI Standard 214, Recommended practice for evaluation of compression test results of field concrete.
16. Chung, H.W., (1978), How good is good enough, a dilemma in acceptance testing of concrete, ACI Journal, Vol. 75, No. 8, pp. 374-380.
17. Nagataki, S., Gomi, H., (1998), Expansive admixtures (mainly ettringite), Cement and Concrete Composites, No 20, pp. 163-170
18. Collepardi, M., Borsoi, A., Collepardi, S., Ogoumah Ologot, J.J. and Torli, R., (2005), Effects of shrinkage reducing admixture in shrinkage compensating concrete under non-wet conditions, Cement and Concrete Composites, Vol. 27, 2005, pp. 704-708
19. Kreijger,P.C.,(1987), The skins of concrete-research needs, Magazine of Concrete Research, Vol. 39, No 140, pp. 122-123.
20. Morin, R., Haddad, G., Aïtcin, P.C., (2002), Crack-free high-performance concrete structures, Concrete International, Vol. 24, No 9, pp. 51-56.
21. Elimov, R., (2003), The control of concrete quality during slipforming operations, Ph.D. thesis No. 1450, Université de Sherbrooke, xxx p.
22. Lachemi, M., Elimov, R., (2007) Numerical modeling of slipforming operations, Computers and Concrete, Vol. 4, No. 1, pp. 33-47.