

温度分布を有するコンクリート内部の水分移動に及ぼす収縮低減剤の影響

広島大学 正会員 ○寺本 篤史
 広島大学 森元 悠太
 広島大学 大久保 孝昭

1. はじめに

セメント系材料の体積変化制御手法の一つに収縮低減剤(SRA)が挙げられる。SRAの収縮抑制機構に関しては、毛細管張力説に則り、毛細管水の表面張力を低下させることで水分減少に伴う負圧の増大を抑制させるという説明が一般的になされている。また、SRAを使用することで相対湿度の低下を抑制させるという研究も報告されている(例えば1)。

しかし、SRAを含有したコンクリートの水分移動に関する既往の研究は数が少なく²⁾、一般的な水分移動の研究についても、コンクリート内部温度が等温であるものが多数を占めている(例えば3), 4)。

以上より、本研究では、実構造物のように内部に温度分布を有する条件において、SRAが水分移動に及ぼす影響を明らかにするための実験的検討を行った。

2. 実験概要

本実験で使用した試験体の概要を図1に示す。試験体寸法は400×400×150mmであり、400×150mmの1面をラバーヒータによって加熱し、その向かい側の面を20℃、60%RH環境に晒すことで、温・湿度分布を生じさせた。他の4面はアルミテープで封緘し、断熱材で覆った。測定項目は温度、相対湿度、ひずみであり、温度測定にはT型熱電対、相対湿度測定にはハンディタイプ温湿度計(精度:±0.8%RH)、ひずみ測定には埋込型ひずみ計を使用した。測定箇所は図1に示す通りである。試験体の作製には生コンクリートをそのまま使用したもの(PL)、荷下ろし後に6kg/m³となるようにSRAを後添加し練り混ぜたもの(SR)を用い、試験体作製後、20℃水槽で約400日間水中養生を行った後、加熱、乾燥を開始した。

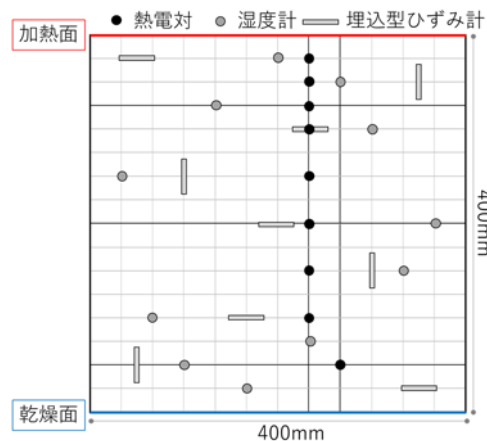


図1 試験体概要

3. 実験結果および考察

3. 1 相対湿度の経時変化

図2および図3に各測定点における相対湿度の経時変化と、各位置における相対湿度の分布を示す。ここで図2中の実線は式(1), (2)で実験値を近似した曲線であり、図2には乾燥面側の相対湿度の経時変化

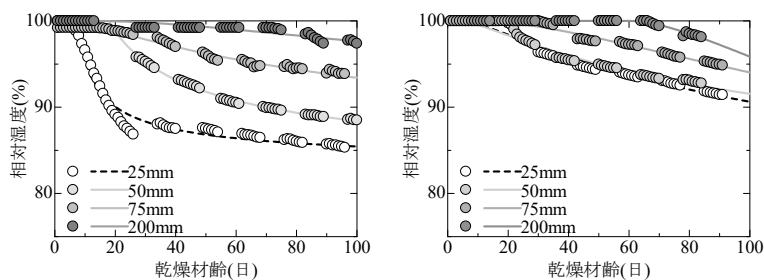


図2 相対湿度の経時変化(左: PL, 右: SR)

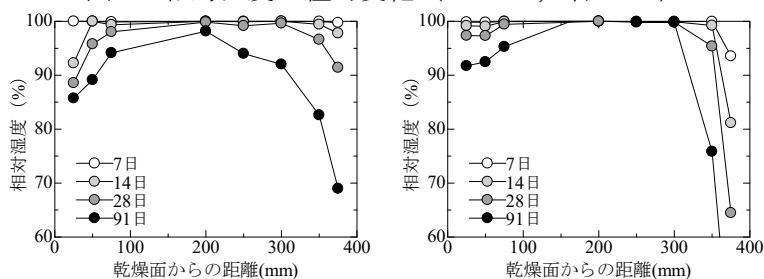


図3 相対湿度の分布(左: PL, 右: SR)

キーワード 水分移動, 加熱, 温度分布, 拡散係数, 乾燥収縮

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院工学部 A2棟 TEL 082-424-7862

のみを記載している。

$$RH = 100\{1 - ((a - \lambda)/b)^n\} \quad (1)$$

$$\lambda = 0.1x/\sqrt{t} \quad (2)$$

ここに、 RH ：任意材齢 t における相対湿度 (%)， λ ：ボルツマン変換に用いられる変数 ($\text{cm}/\sqrt{\text{day}}$)， a, b, n ：最小二乗法によって決定された定数である。

図3より、PL、SRともに、乾燥面に近いほど相対湿度の低下が見られるが、加熱面近傍においても相対湿度の著しい低下が確認される。これは加熱面においてラバーヒータの接着が密実ではなく、加熱面から乾燥が進行したために生じたものと考えられる。そのため、以下の議論では、加熱面から乾燥の影響が小さいと考えられる、乾燥面側に着目して議論を進める。

図2に示すSRの相対湿度の経時変化を見ると、乾燥に伴う相対湿度の低下がPLと比較して抑制されていることが確認できる。BentzらはKelvin式より、SRAの使用は毛細管水の表面張力を低下、および毛細管水表面の曲率半径を増加させ、結果として相対湿度の低下を抑制すると説明しており、定性的には既往の研究結果を再現する傾向であった。

3. 2 拡散係数

次に各相対湿度の測定箇所における見かけの拡散係数を式(3)により算出した。

$$K(RH) = \int_{RH}^1 \lambda \frac{dRH}{2} \left(\frac{dRH}{d\lambda} \right) \quad (3)$$

ここに、 $K(RH)$ ：拡散係数 (cm^2/day) である。式(3)は温度が定常状態であることを前提としているが、本実験の試験体は、加熱面からの位置によって温度分布が生じているものの、各測定点においては温度の時間変化がほとんどなかったため、式(3)を適用可能と判断した。図4に各測定位置における拡散係数と相対湿度の関係を示す。Santら⁵⁾の実験によると、SRAを使用することで含水率が0%になる時点で拡散係数は0.31～0.83 (cm^2/day)程度減少させることが報告されている。本実験では乾燥材齢91日時点までの結果しか得られていないが、PLとSRの拡散係数の差は0.08～0.12 (cm^2/day)程度であった。

3. 3 乾燥収縮ひずみ

下村ら⁶⁾による乾燥収縮モデルにより相対湿度の

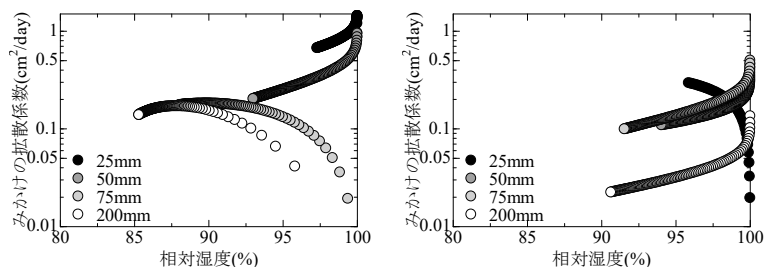


図4 拡散係数の比較 (左：PL，右：SR)

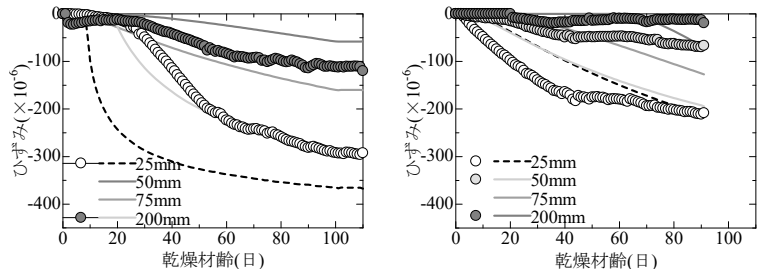


図5 ひずみの比較 (左：PL，右：SR)

実験結果を用いて乾燥収縮ひずみの推定を行った。

図5に乾燥収縮ひずみの経時変化を実験値と推定を併せて示す。一部の埋込型ひずみ計は測定値が欠損していたためここでは表示していない。

図より実験値と推定値には差異が見られるものの、乾燥収縮ひずみの大小関係や曲線の形状は概ね再現ができた。また、SRAによる乾燥収縮の抑制効果は明らかであった。

4. 結論

部材内に温度分布を有するコンクリートにおいても、従来の知見通り、SRAの使用により相対湿度の低下を抑制し拡散係数を小さくすること、結果として乾燥収縮ひずみを抑制されることが示された。

謝辞：本研究は科学研究費補助金(15H04077、代表：丸山一平)の助成を受け実施した。

参考文献

- 1) D. P. Bentz et. al.: Shrinkage-reducing admixture and early-age desiccation in cement pastes and mortars, Cement and Concrete Research, 31, pp1075-1085, 2001
- 2) G. Sant et. al.: Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on Moisture Absorption in Cementitious Materials at Early Ages, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.22, No.3, pp277-286, 2010
- 3) Crank, J: The mathematics of diffusion, Oxford at the Clarendon Press, pp148-149, 1955
- 4) 椎名国雄：コンクリートの内部湿度と変形，コンクリートジャーナル，Vol.7, No.6, pp1-11, 1969
- 5) 阪田憲次，蔵本修：乾燥に伴うコンクリート中の水分の逸散と乾燥収縮に関する研究，土木学会論文報告集，No.316, pp145-152, 1981
- 6) 下村匠，前川宏一：微視的機構に基づくコンクリートの乾燥収縮モデル，土木学会論文集，No.520, Vol.28, pp35-45, 1995