

セメント種類がコンクリート内部の湿気移動速度に及ぼす影響

太平洋セメント株式会社 正会員 ○大野 拓也 小亀 大佑

TAIHEIYO SINGAPORE PTE.LTD. 正会員 三谷 裕二

名古屋大学 環境学研究科都市環境学専攻 正会員 丸山 一平

1. はじめに

近年、コンクリート構造物のひび割れ予測精度を高めるために、コンクリート断面内の相対湿度分布を考慮し、表層部と内部の収縮ひずみ差にともなう内部拘束応力まで加味した解析手法が検討されている^{例えば 1)}。一方、相対湿度分布を評価する上で重要となるコンクリート内部の湿気移動特性については、非線形の拡散方程式を適用した研究^{例えば 2)}が行われてきたものの、その特性に及ぼす材料や配合の影響については、知見が少ないのが実状である。

本研究では種々のセメントを用いたコンクリート内部の相対湿度を、小型供試体を用いて測定した。また、その結果を基に見かけの拡散係数を推定することにより、セメント種類がコンクリート内部の湿気移動特性に及ぼす影響を評価した。

2. 実験概要

表-1 にコンクリートの配合を示す。水セメント比は 50%とし、普通セメント(N)、中庸熱セメント(M)、低熱セメント(L)、高炉セメント B 種(BB)の 4 水準について検討した。AE 減水剤の使用量は一定(単位セメント量 $\times 0.25\%$)とし、コンクリートのスランプおよび空気量がそれぞれ $15 \pm 2.5\text{cm}$ 、 $4.5 \pm 1.5\%$ の範囲内になるように単位水量および空気量調整剤の添加量を変化させた。

図-1 にコンクリート内部の相対湿度変化を測定する方法を示す。本試験では、あらかじめ切断した円盤状の小型供試体を乾燥面以外の内部が密閉された型枠に設置し、乾燥面から深さ 1, 2, 3, 4, 5cm の相対湿度分布を模擬できる方法を用いた。コンクリートの練混ぜは、20℃・R.H.80%の室内で行い、φ100×200mm の円柱供試体を作製後、20℃環境下で 7 日間封緘養生した。脱型後、湿式のダイヤモンドカッターを用いて厚さ 10±0.5mm の精度で円柱供試体の中央部付近より 5 枚切り出し、直ちに表面の水分を拭き取った。その後、すべての円盤供試体の側面にラバーリングを取り付け、5 枚の円盤供試体が 20mm の等間隔で設置で

きるように、円周状に溝を切った円筒状の亚克力製の型枠に切り出した時と同じ向き・並びで保管した。亚克力製の型枠は、1つの端面のみを乾燥面とした。型枠にはあらかじめ測定孔を空けておき、そこから静電容量型の温湿度センサ(精度:0.01%, 誤差:±1.8%)を挿入して円盤供試体間の空間の相対湿度を計測した。なお、計測中は測定孔の隙間をゴム栓で塞いだ。供試体は $20 \pm 1^\circ\text{C} \cdot \text{R.H.}60 \pm 5\%$ の室内に保管し、乾燥期間364日まで相対湿度の計測を行った。

3. 実験結果および考察

図-2 に乾燥面からの距離(深さ)と相対湿度の関係について、乾燥期間 7 日, 28 日, 91 日, 364 日の結果を示す。深さ 1cm の相対湿度は、深さ 2cm~5cm より顕著に低く、深さ 3cm~5cm の相対湿度には大きな差が見られなかった。乾燥の進行速度はセメント種類で異なり、BB の相対湿度は N, M, L と比較して総じて速く、その傾向は乾燥期間 7 日~91 日で顕著であった。これについては、コンクリートの湿気移動による乾燥に加えて、スラグの水和反応によって水が消費され、自己乾燥が生じたことで相対湿度の低下が促進されたものと推察される。一方、M, L の乾燥期間 7 日~91

表-1 コンクリート配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)						
			W	NC	MC	LC	BB	S*	G**
N	50	45.0	169	338	-	-	-	788	984
M			168	-	336	-	-	792	989
L			164	-	-	328	-	800	999
BB			168	-	-	-	336	785	980

*静岡県掛川市産山砂/表乾密度:2.58g/cm³, 吸水率:1.85%

**茨城県桜川市産碎石(碎石 2005)/表乾密度:2.64g/cm³, 吸水率:0.58%

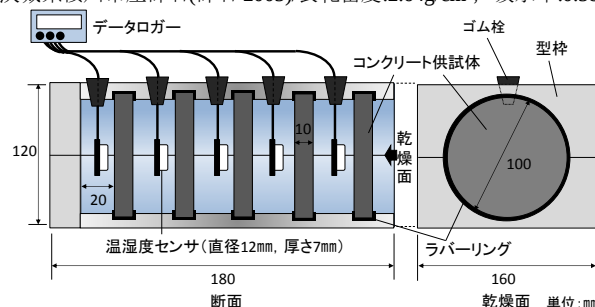


図-1 コンクリート内部の相対湿度測定方法

キーワード 相対湿度, 湿気移動, ボルツマン変換, セメント種類, 見かけの拡散係数

連絡先 〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL: 043-498-3893

日における相対湿度は、Nより総じて高い結果であった。これは、M、Lの水和の進行度がNと比較して遅いことから、空隙内部に自由水が多く存在し、乾燥の進行が遅くなったためと考えられる。なお、深さ2cm～5cmでは乾燥期間364日時点においても60%に達しておらず、湿気移動が長期的に継続する結果であった。

4. 見かけの拡散係数の推定と考察

コンクリートの湿気移動を非線形の拡散現象と捉え、ボルツマン変換³⁾を用いて拡散係数を推定・評価した。一次元の非線形拡散方程式は式(1)で表される。式(2)に示す変数 λ を用いて、式(1)をボルツマン変換すると、拡散係数は式(3)で表すことができる。

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D \cdot \frac{\partial U}{\partial x}) \quad (1)$$

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

$$D(U) = \frac{1}{2} \int_U^{U_0} \lambda dU / \frac{d\lambda}{dU} \quad (3)$$

ここで、 U ：相対湿度(%), t ：乾燥期間(day), x ：乾燥面からの距離(cm), D ：拡散係数(cm^2/day), λ ：ボルツマン変数($\text{cm}/\text{day}^{1/2}$), U_0 ：100%である。

図-3はN、Mにおけるコンクリートのボルツマン変数と相対湿度の関係を示した一例である。いずれのセメントもボルツマン変数と相対湿度にばらつきがあるものの、概ね一義的な相関があることが確認できた。本研究では、工学的実用性を考慮して、図-3に併記した朴ら⁴⁾が提案する式を用いて最小二乗回帰し、回帰式を式(3)に代入して、水和の進行による相対湿度低下などの影響を含んだ見かけの拡散係数を推定した。

図-4に、セメント種類別の見かけの拡散係数を示す。いずれのセメントにおいても、相対湿度が高いほど見かけの拡散係数は大きく、特に80%以上で顕著に増大する傾向を示した。この傾向は、相対含水率を湿気移動の駆動力として拡散係数を評価した既往の研究²⁾と対応していた。セメント種類で比較すると、BB、N、L・Mの順に見かけの拡散係数は大きくなる結果であり、BBの湿気移動速度は、他のセメントと比較して総じて速く、乾燥しやすい可能性が示唆された。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリート内部の相対湿度は、乾燥面に近いほど低く、深さ1cmの相対湿度は、深さ2cm～5cmより顕著に低く、深さ3cm～5cmの相対湿度には大きな差が見られなかった。
- (2) ボルツマン変換により推定した見かけの拡散係数をセメント種類で比較すると、高炉セメントB

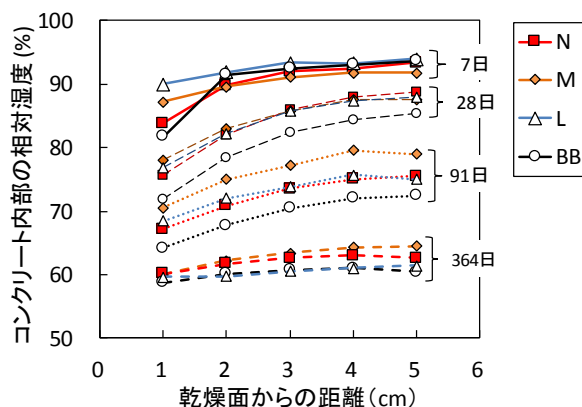


図-2 コンクリート内部の相対湿度分布

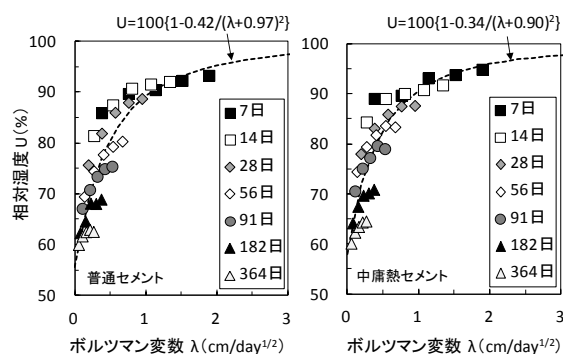


図-3 ボルツマン変数と相対湿度の関係

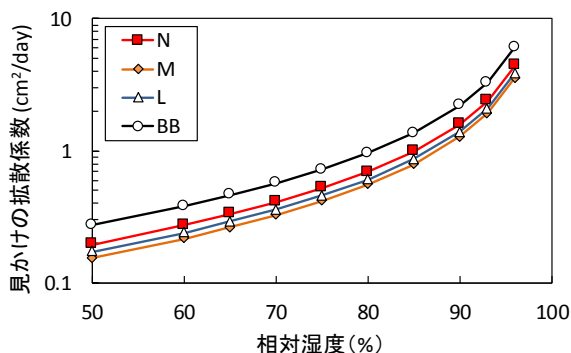


図-4 見かけの拡散係数

種、普通セメント、低熱セメント・中庸熱セメントの順に大きかった。

【参考文献】

- 1) 白根勇二ほか：コンクリート中の相対湿度変化が乾燥収縮ひび割れに及ぼす影響，土木学会第66回年次学術講演会，pp.897-898，2011.9
- 2) 阪田憲次ほか：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，第316号，pp.145-152，1981.12
- 3) Chujiro Matano：Japanese Journal of Physics，Vol.8，pp.109-113，1933.1
- 4) 朴同天ほか：断面補修材として用いられたポリマーセメントモルタルの乾燥と拘束応力発生に関する研究，コンクリート工学論文集，第18巻，第2号，pp.71-81，2007.5