

# 塩分の拡散浸透に関わるコンクリートの損傷劣化程度の評価

秋田高専 正会員 桜田 良治  
秋田高専専攻科 学生員 見上 聡  
長岡技術科学大学 フェロー会員 丸山 久一

## 1. はじめに

コンクリート構造物は、脱型後の乾燥履歴や使用状態下での荷重履歴などを受けることになるが、履歴状態によっては水密性の低下をまねくことになる。このため、コンクリートの耐久性のなかで、水密性や塩分の拡散浸透性に関わるコンクリート内部の損傷劣化の程度を定量的に評価する必要がある。

本研究では、乾燥履歴を受けたコンクリートの細孔空隙の変化特性を検討するとともに、塩分の拡散浸透に関わる損傷劣化状態を細孔空隙量の関数によりモデル化することで評価した。

## 2. 実験及び解析方法

配合では水セメント比を 60%とし、粗骨材として最大寸法 15mm の安山岩砕石を使用した。配合材料の単位量は、水 170kg/m<sup>3</sup>、普通ポルトランドセメント 283kg/m<sup>3</sup>、山砂 800kg/m<sup>3</sup>、安山岩砕石 952kg/m<sup>3</sup>、AE 減水剤をセメント量の 0.25%とした。この配合で作製した角柱供試体(10×10×40cm)を 28 日間水中養生の後、乾燥の程度が細孔空隙に及ぼす影響をみるために、30、50、110 の温度で 28 日間乾燥させた。乾燥後の供試体について、モルタル部分の細孔空隙量を水銀圧入式ポロシメータで測定した。この乾燥履歴を受けた供試体を 1 冬期間、凍結防止剤散布の影響を直接受ける国道の橋梁上に設置し暴露実験を行った。

上記実験結果に基づいて、乾燥に伴う細孔空隙量をファクターとする関数を考え、これより塩分の拡散浸透に影響を及ぼすコンクリートの損傷劣化程度を解析的に検討した。

## 3. 乾燥による細孔空隙の変化

図 1 に、各乾燥温度での乾燥による細孔径分布の変化を示す。細孔径分布として、全細孔空隙率に対する各細孔径  $d(\mu\text{m})$ での細孔空隙率の相対頻度  $f(d)$ で表した。乾燥温度 30 で 28 日間乾燥すると、細孔直径で  $10^{-2} \sim 10^{-1} \mu\text{m}$  の範囲の細孔空隙が相対的に多いのに対して、50 では細孔径分布のモードはほぼ同じであるが、この細孔径範囲での空隙量が増加してくる。さらに、乾燥温度を水の蒸発温度である 110 まで上げると、細孔径分布のモードは細孔径の大きい方向にシフトしていく。この細孔径分布は、Weibull 分布での近似が可能であり、分布の形状パラメータと尺度パラメータは、乾燥温度の関数として定めることができる[1]。

このパラメータを算出することで、任意の乾燥履歴を受けたコンクリート構造物の細孔径分布の予測が可能となる。

図 2 に、乾燥温度 30 の細孔空隙率を基準として、乾燥温度 50、110 に対する各細孔径での空隙率の増減  $\Delta V(\text{cc/cc})$ を示した。これより、乾燥により全ての細孔径での空隙が一様には増加せず、細孔直径で 50nm ~ 2  $\mu\text{m}$  の毛細管空隙率の増加が顕著になることが判る。

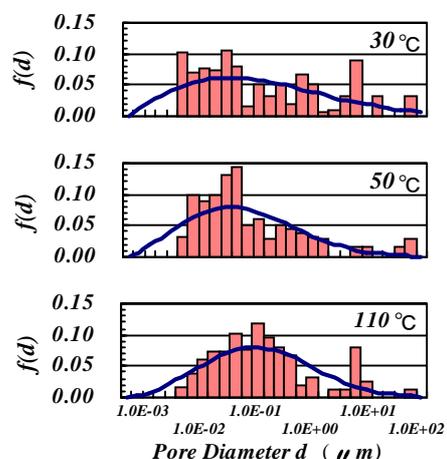


図 1 細孔径分布

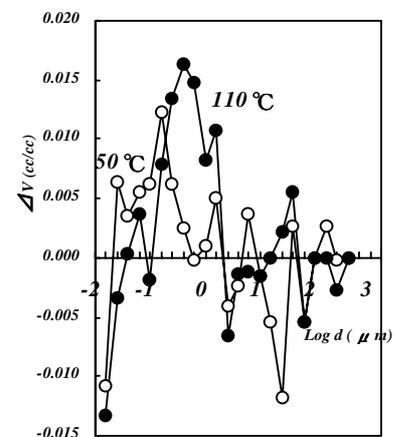


図 2 細孔空隙量の変化

Key Words：損傷劣化，細孔空隙，塩分浸透，乾燥履歴

連絡先：〒011-8511 秋田市飯島文京町 1-1 秋田高専環境都市工学科 TEL 018-847-6075 FAX 018-857-3091

#### 4. 乾燥による損傷劣化程度の評価

コンクリートの塩分拡散は、Fick の拡散方程式で表され、見かけの拡散係数  $D_c$  と表面塩分量により規定される。見かけの拡散係数  $D_c$  は、コンクリートの劣化程度が大きくなるにつれて、その値は増加することになるため、損傷劣化状態を表すパラメータを  $i$  とする時、式 1 で表すことができる。

$$D_c = D_0 \prod_{i=1}^n i \quad (1)$$

$i$  の値は、コンクリートが劣化状態にない健全部で 1、劣化が進行した領域では  $i > 1$  の値をとる。ここで、水和の進行に伴うモルタル組織の緻密化を考慮する場合には  $i < 1$  の値を取り、劣化の進行を抑制する方向に作用することになる。 $D_0$  は、損傷劣化を受けていないコンクリート健全部の拡散係数であるが、これが複数の劣化作用を受けることにより ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )、劣化後の拡散係数  $D_c$  は劣化状態を表すパラメータ  $i$  の乗積分だけ増加することになる。

前節 3 より、ここで、乾燥履歴を受けていないコンクリート健全部での毛細管空隙率(50nm ~ 2 μm)  $\tau_{ref}$  に対する任意の乾燥温度  $T$  で所定の期間、乾燥履歴を受けた後の毛細管空隙率(50nm ~ 2 μm)  $\tau_T$  の比  $f = \tau_T / \tau_{ref}$  を考える。この  $f$  は、乾燥に伴うモルタルマトリクス中の細孔空隙量の増加率を表すことになる。コンクリート健全部での毛細管空隙率  $\tau_{ref}$  として、28 日間の標準養生後の空隙率とした。毛細管空隙率比  $f$  は、乾燥温度が高くなるにつれて次第に増加するが、ここではコンクリート乾燥温度の最高温度を  $T=110$  と設定し、その時の空隙率比  $f$  を毛細管空隙率比のとりうる最大値とした。 $f$  は、110 °C での乾燥期間に依存し、実験より次の関数で表される。

$$f = a_d \sqrt{t_d / 28} + b_d \quad (2)$$

式 2 より算出される毛細管空隙率比  $f$  と乾燥温度  $T^*(=T/20 \text{ } ^\circ\text{C})$ 、乾燥期間  $t_d/28(\text{day/day})$  をファクターとした細孔空隙関数  $i$  を定めた(式 3)。

$$i = f - \frac{f - 1}{1 + a_1 [T^*]^{m_1}} \quad (3)$$

式 3 で与えられる細孔空隙関数  $i$  を、凍結防止剤散布環境下でのコンクリート部材の塩分浸透問題に適用し算出した。暴露実験より求めた塩化物イオン拡散係数  $D_c$  の乾燥履歴を受けていない標準養生した場合の拡散係数  $D_0$  との比が、乾燥による細孔空隙関数  $i$  に対応するとして、定数  $a_1, m_1$  を定めた。その結果、本暴露実験での凍結防止剤散布環境下では、定数として  $a_1=0.0143, m_1=5$  となる。

図 3 に、式 3 より算出した乾燥によるコンクリートの損傷劣化の状態を示す。図より、乾燥による細孔空隙関数は、乾燥温度が 30 °C から 50 °C の範囲で急激に増加し、50 °C より高い温度領域ではその増加率は次第に小さくなる。また、式 2 より毛細管空隙率比の最大値  $f$  は、乾燥期間  $t_d/28$  の関数で表されるため、乾燥期間に比例して細孔空隙関数は増大する。そこで、式 1~3 に基づいて算出した塩化物イオンの拡散係数を、実測値と対比した結果を図 4 に示す。各乾燥温度でのコンクリート供試体とも、実測値と計算値との適合性がよく、式 3 により損傷劣化程度を算出することで、乾燥履歴を受けたコンクリートの塩化物イオン拡散係数の予測が可能となる。

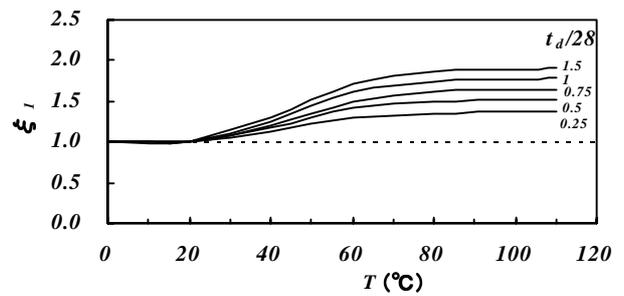


図 3 乾燥による損傷劣化

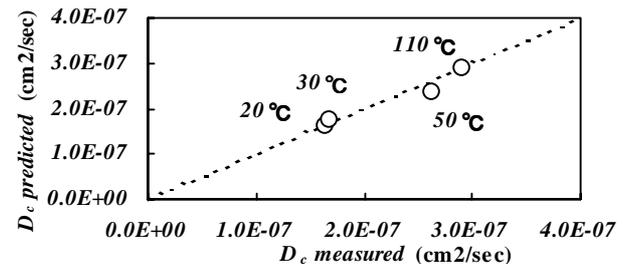


図 4 塩化物イオン拡散係数の比較