

内的塩害と中性化の複合劣化を受けるコンクリート中の塩分濃縮性状

京都大学 学生員 ○松下創一郎 西日本旅客鉄道㈱ 正会員 荒巻智
 京都大学 正会員 山本貴士 正会員 服部篤史 フェロー会員 宮川豊章

1 研究目的

本研究では、内的塩害と中性化の複合劣化を受けるコンクリート中の中性化による塩分移動濃縮¹⁾性状を把握することを目的として、あらかじめ塩化物イオン（以下、 Cl^- と略す）を添加したコンクリートを用いて中性化を進行させることで、複合劣化を再現する実験を行った。

2 実験概要

本研究に用いた供試体は全て $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の無筋角柱供試体を用いた。実験要因を表 1 に示す。中性化促進環境(炭酸ガス濃度 5%、温度 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $55 \pm 5\%$ の中性化槽)を 5 日間、アノード反応を促進させ鉄筋腐食を促す環境(温度 40°C 、湿度 98% の恒温恒湿槽)を 2 日間、計 7 日間を 1 サイクルとして繰り返した。各供試体について 0、1、2、4、8、12 および 16 週で中性化深さとコンクリート表面からの塩分分布を測定した。

表 1 実験要因

要 因	設定値
W/C(%)	55,70
初期 Cl^- 量(kg/m^3)	0,1.0,3.0

3 実験結果と考察

3.1 塩分量分布の経時変化

W/C70%、初期 Cl^- 量 $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ の供試体における 2、8 および 16 週経過後のコンクリート表面からの塩分量分布を図 1 に示す。図中の点線と数値は、それぞれ中性化深さの位置と値を示している。 Cl^- 量は、中性化領域では初期 Cl^- 量よりも少なくなっている。また、中性化フロントより深部においては、 Cl^- 量は初期 Cl^- 量を超え、濃縮していることがわかる。また、最大 Cl^- 量を示す位置は、経時変化に伴い、徐々にコンクリート内部へと移動している。

最大 Cl^- 量は 8 週目以降において、いずれも $2 \text{ kg}/\text{m}^3$ を超えており、初期 Cl^- 量の 2 倍程度に達している。また、W/C55%、初期 Cl^- 量 $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ の供試体における 2、8 および 16 週経過後のコンクリート表面からの塩分量分布を図 2 に示す。W/C70% の場合と同様に Cl^- が徐々にコンクリート内部に移動し、濃縮していることがわかる。ただし、最大 Cl^- 量は最大でも $1.7 \text{ kg}/\text{m}^3$ 程度となっており、W/C70% の場合と異なり、初期 Cl^- 量の 2 倍程度には達していない。

キーワード：複合劣化、中性化、内的塩害、塩化物イオン、移動濃縮

連絡先：京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5102 FAX 075-752-1745

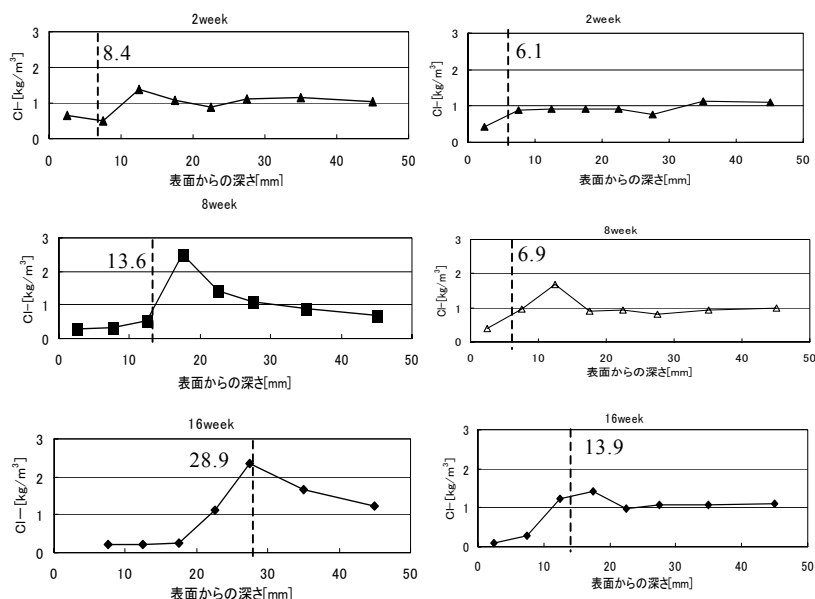


図 1 W/C70%、 Cl^- $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ の場合の

塩分分布の経時変化

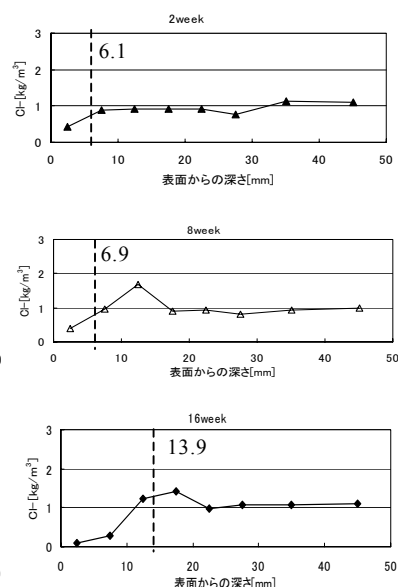


図 2 W/C55%、 Cl^- $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ の場合の

塩分分布の経時変化

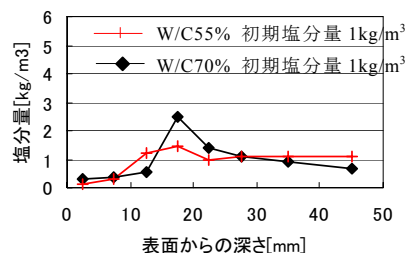


図 3 中性化深さ同程度の時の塩分量分布

3.2 中性化深さと最大 Cl^- 深さ

図3に、W/C55%、初期 Cl^- 量 1kg/m^3 の場合における16週目の塩分量分布（中性化深さ 13.9mm ）と、W/C70%、初期 Cl^- 量 1kg/m^3 の場合における8週目の塩分量分布（中性化深さ 13.2mm ）を示す。両者を比較すると、W/C70%の方が、最大 Cl^- 量が大きく、塩分分布形状は異なっているが、最大 Cl^- 量を示す位置は、いずれもコンクリート表面から 17.5mm となっている。したがって、中性化促進期間に係らず、中性化深さが同程度であれば、最大 Cl^- 量を示す位置は同程度となり、 Cl^- の移動は、中性化の進行に支配される傾向が強いことがわかった。

3.3 塩分濃縮と中性化深さ

図4に、W/C55%、70%で初期 Cl^- 量 1kg/m^3 、と W/C70%で初期 Cl^- 量 3kg/m^3 の供試体の8週目の塩分量分布を示す。横軸はコンクリート表面からの距離を中性化深さで、縦軸は測定位置における Cl^- 量を初期 Cl^- 量で除した無次元量を示している。最大 Cl^- 量を示す位置は、W/C70%、初期 Cl^- 量が $1, 3\text{kg/m}^3$ の場合は、中性化深さよりも少し奥の位置で最大となり、W/C55%、初期 Cl^- 量 1kg/m^3 の場合は、中性化深さの2倍程度の位置で最大となっている。水セメント比の違いにより差があるものの、最大 Cl^- 量については、初期 Cl^- 量に対して、 $1.4 \sim 2.5$ 倍程度濃縮している。W/C55%、70%、初期 Cl^- 量 1kg/m^3 の場合を比較すると、W/C70%の方が濃縮の割合が高くなっている。この理由は、中性化フロントで遊離した Cl^- により濃度差が生じ、これを駆動力して Cl^- が内部へ移動するが、水セメント比が大きいほど移動しやすいため、濃縮の割合が高くなったと考えられる。塩分濃縮の影響範囲を、コンクリート表面から濃縮した塩分量が初期 Cl^- 量と一致する位置までの長さとして定義すると、W/C70%の場合は中性化深さの2倍程度、W/C55%の場合は中性化深さの2.5倍程度となっている。

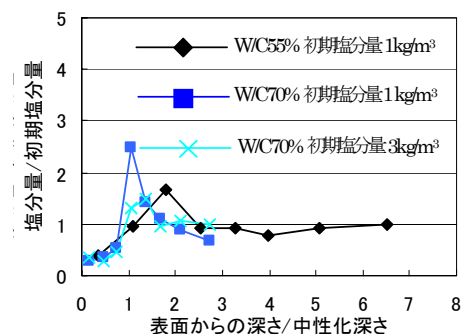


図4 基準化した塩分量と深さの関係（8week）

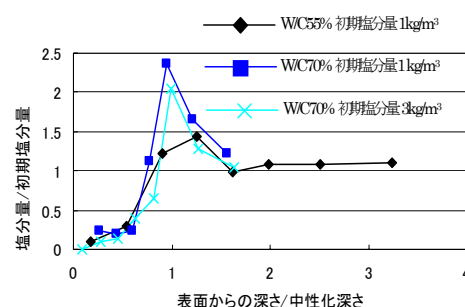


図5 基準化した塩分量と深さの関係（16week）

図5は、16週目の塩分量分布を示す。W/C70%のものは、最大 Cl^- 量を示す位置は中性化深さとほぼ同程度にある。なお、W/C70%の供試体では、コンクリート表面から 50mm の供試体中央部においても、塩分量が初期 Cl^- 量を上回っており、塩分濃縮の影響範囲は、供試体の中央 50mm の位置付近までに達していることがわかる。促進中性化は、供試体の両側面から行っているが、16週目に達した時点で、W/C70%の供試体では、中性化による塩分移動が供試体の中央まで及んだと考えられる。W/C55%の場合の最大 Cl^- 量を示す位置は W/C70%の場合より少し奥にあり、8週目経過時と同様の傾向を示している。また、最大 Cl^- 量については、W/C70%の場合で約2倍、W/C55%の場合は約1.5倍程度と8週目経過時と同様の傾向を示している。

4 結論

- (1) 打設時に内在する塩分は、中性化促進環境下でコンクリート表面から内部への移動濃縮が認められた。
- (2) 中性化深さが同じ場合、最大 Cl^- 量を示す位置はほぼ同程度になることから、 Cl^- の移動は中性化の進行に支配される傾向が強い。
- (3) 中性化が進行するにしたがって、中性化深さに対する塩分濃縮の影響範囲の比は小さくなっていく。

参考文献

- 1) 小林一輔：コンクリート構造物の早期劣化と耐久性診断、森北出版