

混和材を用いたセメント硬化体からの電気化学的脱塩効果

徳島大学大学院

学生会員 ○長尾賢二

徳島大学工学部

正会員 上田隆雄

電気化学工業(株)

正会員 芦田公伸

1. はじめに

近年、塩害により劣化したコンクリート構造物に対する補修工法として、電気化学的手法であるデサリネーションの適用実績が増加しているが、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートに適用した場合には、コンクリート中の Cl^- の挙動が混和材の影響により変化することが考えられる。そこで本研究では、通電処理前後のコンクリート供試体中における Cl^- 濃度分布やモルタル円柱供試体から抽出した細孔溶液中の自由 Cl^- 濃度から、混和材を用いた場合の Cl^- 固定化量ならびに Cl^- の移動性状を把握することにより、混和材がデサリネーションによる脱塩効果に与える影響について検討を行った。想定する劣化状態としては、塩害単独の場合に加えて、山陽新幹線高架橋に見られたような塩害と中性化の複合的な作用を受ける場合についても併せて検討した。

2. 実験概要

本実験に用いたコンクリートの水結合材比 (W/B) は、比較的厳しい鉄筋腐食環境を想定して 60% を選定し、すべての配合で一定とした。フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末は、それぞれ単位結合材量 (C+FA または C+BFS) を一定とした上で、セメントに対して質量置換した。置換率はフライアッシュで 30% (FA30)、高炉スラグ微粉末で 50% (BFS50) とし、これらに無混和の普通コンクリート (NPC) をあわせた合計 3 配合とした。また、すべての配合について、 Cl^- 量が 5.0kg/m^3 となるよう、練混ぜ時に NaCl を混入した。

本実験に用いた供試体として、中央部分に異形鉄筋 (D13 SD295A) を一本配した $100 \times 100 \times 150\text{mm}$ のコンクリート角柱供試体と中央部分に銅線 ($\phi 1\text{mm}$) を一本配した $\phi 50 \times 100\text{mm}$ のモルタル円柱供試体の 2 種類を作製し、塩害単独劣化を想定した封緘養生 5 ヶ月 (モルタル供試体については 4 ヶ月) と塩害と中性化の複合劣化を想定した封緘養生 1 ヶ月 + 促進中性化 4 ヶ月 (モルタル供試体については促進中性化 3 ヶ月) の 2 種類の条件で養生ならびに劣化促進を行った。養生・劣化促進終了後の通電方法は 8 週間連続通電とし、電流密度は通電面に対して 1.0A/m^2 とした。また、コンクリート供試体では 1 面通電、モルタル供試体では側面全面通電とし、電解溶液には $0.1\text{N Li}_3\text{BO}_3$ 水溶液を使用した。デサリネーションによる脱塩効果を評価するために、通電処理前後において、コンクリート供試体中の全塩分量分布を測定するとともに、モルタル供試体を用いて、高圧抽出法による細孔溶液抽出を行い、細孔溶液中の Cl^- および OH^- 濃度を測定した。

3. 中性化深さ

促進中性化終了直後の供試体の中性化深さを図-1 に示す。これによると、フライアッシュまたは高炉スラグ微粉末を混和した場合は、無混和の場合に比べて同一促進条件による中性化深さが大きくなっている。この原因としては、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を内割置換しているため、単位セメント量が減少し、セメントの水和反応により生成される水酸化カルシウムが減少するとともに、混和材のポズラン反応あるいは潜在水硬性によって水酸化カルシウムが消費されたことが考え

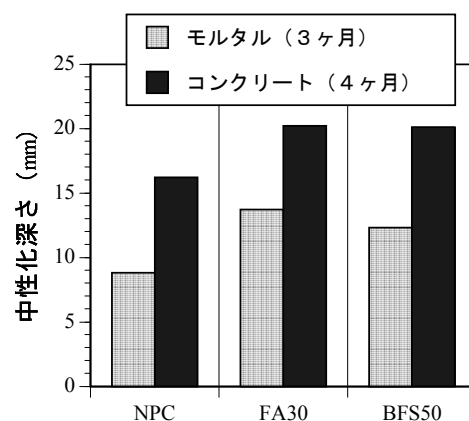
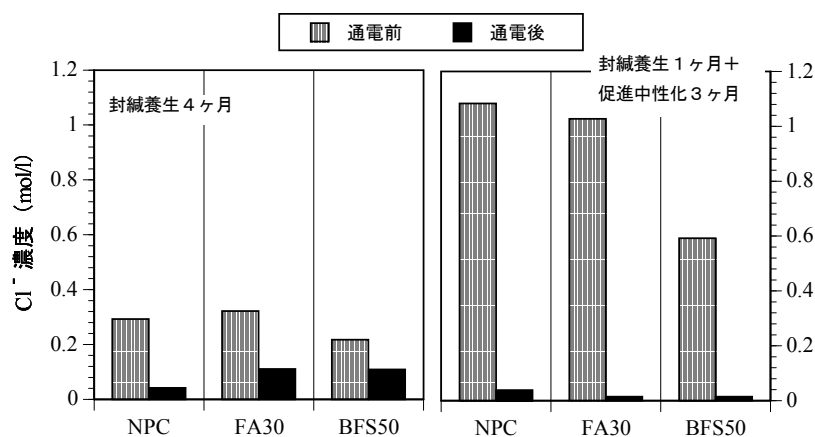
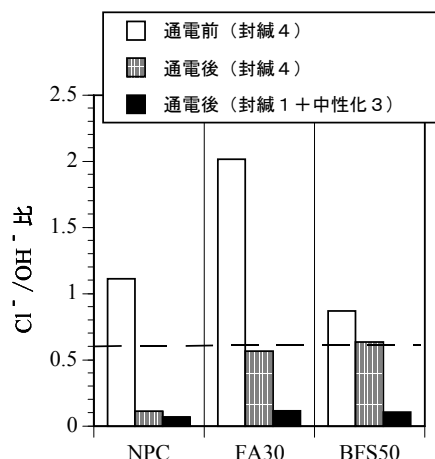


図-1 供試体の中性化深さ

キーワード デサリネーション、混和材、塩害、中性化、高圧抽出法

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町2丁目1番地 徳島大学工学部

図-2 細孔溶液中の自由 Cl^- 濃度図-3 細孔溶液中の Cl^-/OH^-

られる。

4. モルタル細孔溶液中の自由 Cl^- 濃度および Cl^-/OH^-

高圧抽出法により採取した細孔溶液中の自由 Cl^- 濃度を図-2に示す。これによると、促進中性化を行っていない場合（図-2左）は、通電前における BFS50 の自由 Cl^- 濃度が NPC と FA30 の場合よりも小さくなっていることがわかる。竹上らはモルタルによる実験結果から、高炉スラグ微粉末を用いた場合には、電気的拘束により細孔壁に吸着される Cl^- 量が増加するものと考察している¹⁾。本研究の場合も、高炉スラグ微粉末の混和により、 Cl^- の固定化割合が増加したものと推定される。通電後には、すべての配合において、細孔溶液中の自由 Cl^- 濃度が小さな値となっており、通電処理により、自由 Cl^- が供試体外に抽出されたことがわかる。なお、混和材を用いた場合の方が無混和の場合よりも細孔溶液中に残存する自由 Cl^- 濃度が大きくなっており、この理由として、混和材を用いた場合には、細孔組織の緻密化等の物理的な影響に加え、細孔組織の電気的構造の変化により、 Cl^- 移動抵抗性が大きくなったものと考えられる。竹上らは、高炉スラグ微粉末を用いた場合には、吸着塩化物量の増加により、細孔溶液中の電気的反発力が増大し、実質的に自由 Cl^- が通過可能な範囲が減少することで、 Cl^- のモルタルへの浸透が抑制されると考察している¹⁾。本研究においても、高炉スラグ微粉末を用いた場合には、細孔壁への吸着 Cl^- 量の増加により、自由 Cl^- の電気泳動が阻害された可能性がある。一方、促進中性化を行った場合（図-2右）には、行っていない場合と比較して、すべての配合において通電前の自由 Cl^- 濃度が大きくなっている。これは、既往の研究で指摘されている²⁾ように、セメント硬化体中にフリーデル氏塩として存在していた Cl^- が中性化の影響により細孔溶液中に遊離したことが原因と考えられる。通電後においては、これらの遊離 Cl^- が優先的に除去されたため、促進中性化を行っていない場合と比較し細孔溶液中の自由 Cl^- 濃度が小さくなっていることがわかる。特に、中性化速度の大きくなる混和材を用いた供試体では、無混和の場合よりも Cl^- 抽出量が大きくなっている。

細孔溶液中の Cl^-/OH^- 比を図-3に示す。通電前にはすべての配合で鋼材腐食発生限界値とされている 0.6 を上回っているのに対し、通電処理を行った場合にはこれ以下の値となっていることから、デサリネーションにより鉄筋腐食環境が改善されたことがわかる。しかし、この図においても、中性化の影響が無い場合に、混和材を用いた供試体の方が無混和供試体に比べて、 Cl^-/OH^- 比が大きくなっており、混和材を用いた場合には脱塩効果が小さくなる可能性が考えられる。実際の腐食反応には酸素や水分の供給量も関係することから、混和材を含む構造物に対する補修効果については、さらに総合的な観点から判断する必要がある。

参考文献

1) 竹上浩史ほか：高炉スラグ微粉末を混入したセメント硬化体中の塩化物移動・平衡則，コンクリート工学年次論文集，vol.24，No.1，pp. 633-638(2002)