

V-24 フライアッシュの混和がモルタルの Cl^- 固定化に与える影響

(株)大林組 正会員 ○橘 健太
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、資源の有効利用の観点と不足する天然細骨材の代替材料としての観点から、石炭火力発電所から排出される産業廃棄物であるフライアッシュの利用が進んでいる。一方、フライアッシュを混和したコンクリートの Cl^- 固定化性状が変化することが報告されているが、フライアッシュの種類、置換混和方法、材齢等が Cl^- 固定化性状に与える影響や固定化性状の変化が鉄筋腐食性状に与える影響は、明らかになっていない。また、これらの影響を定量的に把握することは、フライアッシュを混和したコンクリートの塩害に対する耐久性を評価する上で重要である。そこで本研究では、フライアッシュの種類（Ⅱ種またはⅣ種）、混和方法（内割または外割）、および材齢（28 日または 120 日）を変化させたフライアッシュ混和モルタルを作製し、高压抽出した細孔溶液の化学分析により、 Cl^- 固定化性状の評価を試みるとともに、モルタル中の鉄筋腐食挙動を検討した。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体、および $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の角柱供試体の 2 種類とし、角柱供試体は断面中央に丸鋼 $\phi 6$ SR235 を 1 本配した。モルタルの配合は、水セメント比 (W/C) が 60% の普通モルタルを基準配合とし、これに対して、フライアッシュⅡ種、またはⅣ種を内割（セメント質量に対して 30%）、および外割（単位細骨材量の体積に対して 10%）で混和した。また、モルタル中の Cl^- 量が 8.0kg/m^3 となるよう、練混ぜ時に NaCl の形で混入した。なお、供試体の記号は、フライアッシュ無混和の場合を NPC、内割の場合は IN、外割の場合は EX とし、最後尾に混和したフライアッシュがⅡ種かⅣ種かの区別をするために 2 または 4 をつけることとする。

円柱供試体については、28 日、または 120 日の封緘養生終了後直ちに、高压抽出法により細孔溶液抽出を行い、得られた細孔溶液に対して、直ちにイオンクロマトグラフ法により Cl^- 濃度を、0.01N 塩酸による直接滴定法により OH^- 濃度を求めた。また、別の円柱供試体を用いて硬化モルタル中の全 Cl^- 量および可溶性 Cl^- 量を JCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に準じて測定した。

角柱供試体は、28 日の封緘養生終了後、 20°C の恒温室内で 1 週間周期の湿空静置と乾燥静置を繰返す乾湿繰返し環境に保管し、定期的に自然電位、分極抵抗、および液抵抗を測定した。なお、照合電極として飽和銀塩化銀電極 (Ag/AgCl) を用いた。さらに、乾湿繰返し期間が 154 日を経過した供試体から、鉄筋をはつりだし、鉄筋の腐食減量を JCI-SC1「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」に準拠して測定した。

3. 硬化モルタル中の Cl^- 量

材齢 28 日、および 120 日の時点まで封緘養生した硬化モルタル中の全 Cl^- 量に対する可溶性 Cl^- 量の割合を図-1 に示す。可溶性 Cl^- は、細孔溶液中の自由 Cl^- の目安として解釈することができる。つまり、図-1 に示した値が大きいほど、全 Cl^- 量に対する自由 Cl^- 量が大きく、モルタルの Cl^- 固定化能力が小さいと考えられる。

図-1 によると、全 Cl^- 量に対する可溶性 Cl^- 量の割合は、フライアッシュ無混和の場合と比較して、フライアッシュⅡ種を混和した場合、およびⅣ種を外割で混和した場合で、同程度以下となっているが、Ⅳ種を内割混和した場合では大きくなった。

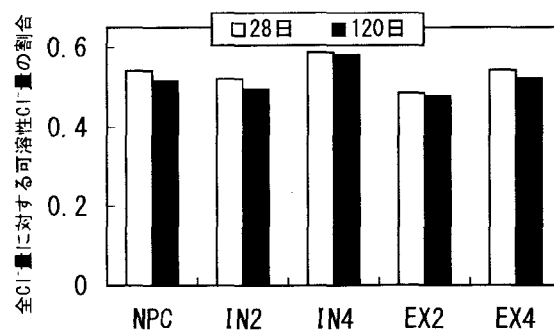


図-1 硬化モルタル中の全 Cl^- 量に対する可溶性 Cl^- 量の割合

これは、フライアッシュⅡ種を混和した場合には、粉末度が高く、活性度も大きいことから、ポズラン反応による細孔構造の緻密化が促進され、ポズラン反応生成物に取り込まれる Cl^- 量、モルタル細孔壁に吸着される Cl^- 量が増大し、結果として、 Cl^- 固定化能力が向上したものと考えられる。一方、フライアッシュⅣ種は粉末度、および活性度がⅡ種に比べて低いことから、内割で混和した場合に、ポズラン反応による Cl^- 固定化量が、セメント量の減少に伴う Cl^- 固定量減少分を補えなかったことが原因と考えられる。ただし、フライアッシュⅣ種を外割混和した場合には、無混和の場合と同程度の Cl^- 固定化能力を有しているものと考えられる。

4. 細孔溶液のイオン濃度分析

材齢 28 日、および 120 日の時点まで封緘養生した硬化モルタルから抽出した細孔溶液中の Cl^-/OH^- モル比を図-2 に示す。

図-2 によると、フライアッシュ無混和と比較して、フライアッシュを混和した場合、 Cl^-/OH^- モル比は大きくなった。また、外割よりも、内割で混和した場合に値が大きかった。これは、ポズラン反応による OH^- 消費が原因と考えられる。また、内割の場合は、セメント量の減少も Cl^-/OH^- モル比増大の原因と言える。しかし、モルタルの耐久性を評価する場合、図-2

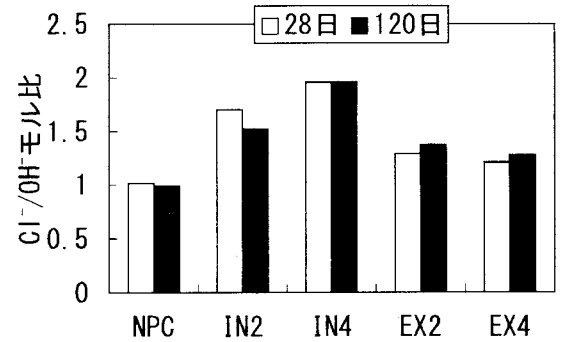


図-2 細孔溶液中の Cl^-/OH^- モル比

の結果からは、フライアッシュ混和によって鉄筋腐食に厳しい環境が形成されていると推測されるが、フライアッシュ混和により細孔構造が緻密化し、モルタルの遮塩性が向上すること、および細孔溶液中のイオン濃度が変化することも考慮に入れるべきであると言える。

5. モルタルの液抵抗

28 日間の封緘養生を終了し乾湿繰返し環境に保管したモルタルの液抵抗の経時変化を図-3 に示す。液抵抗はモルタルの電気抵抗であり、主としてモルタルの密実性を示す指標と言える。

図-3 によると、フライアッシュを混和した場合は、無混和よりも液抵抗の値が大きく、外割よりも内割、フライアッシュⅣ種よりもⅡ種の場合に値が大きかった。このことより、ポズラン反応によるモルタルの密実性が向上しているものと考えられる。また、セメント粒子よりもフライアッシュ粒子の方が大きい電気抵抗性を有していると考えられ、Ⅳ種よりも品質の良いⅡ種の方が、さらに外割よりもフライアッシュ混和量が多い内割の方が、液抵抗の値は大きくなるものと考えられる。

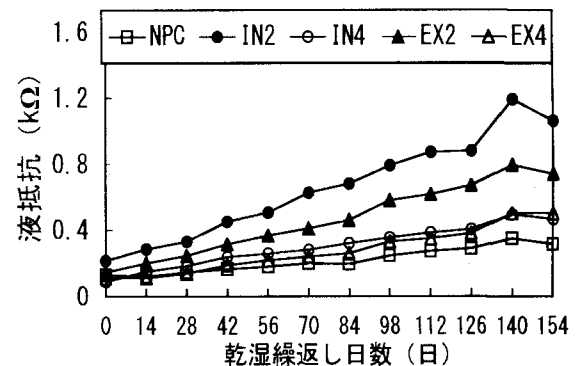


図-3 液抵抗の経時変化

6. 鉄筋腐食減量

乾湿繰返し期間が 154 日を経過した供試体からはとり出した鉄筋の腐食減量を図-4 に示す。

図-4 によると、鉄筋腐食減量は、無混和と比較して、フライアッシュⅡ種を内割混和した場合、最も小さくなり、Ⅳ種を外割混和した場合で、最も大きかった。このことから、5.で示した、液抵抗が、鉄筋腐食減量に与える影響は大きいものと考えられる。

また、外割よりもフライアッシュの混和量が多かった内割で混和した方が、鉄筋腐食減量が小さくなったことから、フライアッシュ

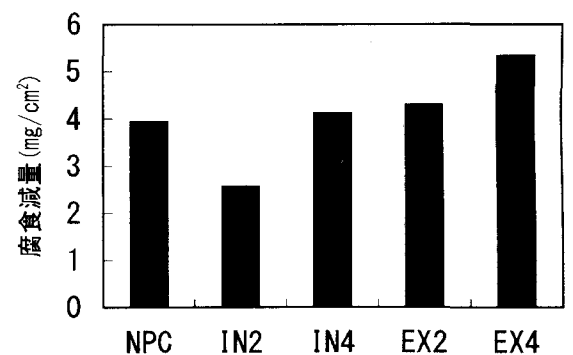


図-4 鉄筋腐食減量

混和量が鉄筋腐食減量に与える影響が大きいことが考えられる。さらに、Ⅳ種フライアッシュを内割で混和した場合の鉄筋腐食減量は、無混和と比較して、同程度となったことから、フライアッシュⅡ種よりも低品質なⅣ種を使用する場合も、適切な混和量とすることで、十分利用可能なものであると考えられる。