

V-34 細骨材代替でフライアッシュを混和したモルタル中の鉄筋腐食性状

徳島大学大学院	学生会員	○田中慎吾
徳島大学工学部	正会員	上田隆雄
徳島大学工学部	フェロー	水口裕之
電気化学工業（株）	正会員	七澤章

1. はじめに

近年、資源の有効利用と天然骨材の枯渇化の観点から、石炭火力発電所から産出されるフライアッシュを細骨材代替でコンクリートに用いる検討が進められている。フライアッシュを細骨材代替で混和した場合、細孔溶液の組成やセメント硬化体の細孔構造が変化し、コンクリート中の鉄筋腐食性状に影響を与えることが考えられる。しかし、このようなコンクリートの耐久性評価に必要な基礎的データは不足している。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）、置換率（外割で10%または30%）、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、高圧抽出され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

本研究で用いたモルタル供試体は、 $\phi 50 \times 100$ mmの円柱供試体、および $40 \times 40 \times 160$ mmの角柱供試体とし、角柱供試体については断面中央に丸鋼 $\phi 6$ を1本配したものと鉄筋無しの2種類を作製した。また、モルタルのW/Bは60%とし、塩害が進行した環境を想定して、 Cl^- 量が 6.0 kg/m^3 となるようにNaClの形で混入した。フライアッシュはⅡ種およびⅣ種を細骨材代替で使用し、置換率は単位細骨材量に対して容積比で10%および30%とした。また、アルカリ刺激剤として、LiOHをモルタル中のLi/Naモル比が約1.5となるように添加し、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ をフライアッシュの質量の10%添加した。

円柱供試体については、28日、または、120日の封緘養生が終了した時点で直ちに、高圧抽出法により細孔溶液抽出を行った。抽出された細孔溶液に対して、直ちに Cl^- 濃度をイオンクロマトグラフ法により、 OH^- 濃度を0.01 N塩酸による直接滴定法により求めた。また、硬化モルタル中の塩分量を、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。

鉄筋入りの角柱供試体は、28日の封緘養生が終了した時点から、20℃の恒温室内において湿空10日と乾燥4日の合計2週間を1サイクルとして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。照合電極としては飽和銀塩化銀電極（Ag/AgCl）を用いた。なお、これらの測定を行う前に供試体表面を湿布で約3時間覆うことにより、測定のための湿潤状態を確保した。

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。グラフより、Ⅱ種フライアッシュを混和した場合の全 Cl^- 量に対する可溶性 Cl^- 量の割合は、無混和の場合より小さくなっており、さらに、フライアッシュの置換率が大きい場合の方が、小さい場合より値が小さくなっている。これは、Ⅱ種フライアッシュは、比表面積が大きい微粉末で、ポゾラン反応の活性度も高いため、モルタルとしての Cl^- 固定化能力が向上したためと考えられる。また、アルカリ刺激剤を添加した場合に値が上昇している。これは、LiOHがセメントの水和反応を阻害したことや細孔溶

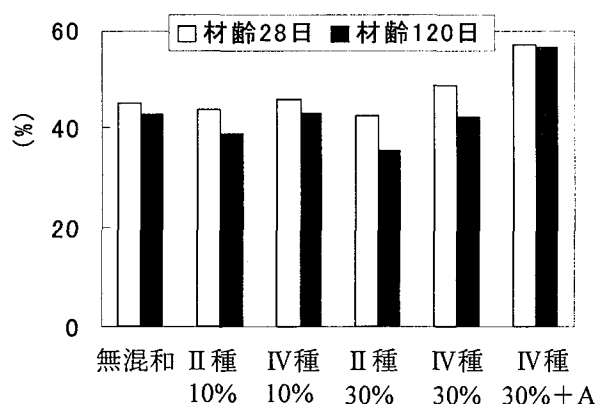


図-1 硬化モルタル中の全 Cl^- 量に対する可溶性 Cl^- 量の割合

液中の OH^- 濃度が上昇したため、セメント水和物の固定化能力が低下したことが原因と考えられる。

4. 細孔溶液中のイオン濃度分析

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、フライアッシュを混和した場合には、無混和の場合よりも大きな Cl^-/OH^- モル比を示しており、この値は材齢に伴って大きくなっている。また、II 種よりも IV 種の方が、置換率は大きい方が Cl^-/OH^- モル比が大きくなっている。一般に、コンクリート中の鉄筋腐食環境は Cl^-/OH^- モル比が大きいほど厳しく、腐食が進行しやすい環境であることから、図-2 の結果のみで判断すれば、フライアッシュの混和は鉄筋防食の観点から望ましくないことになる。一方で、フライアッシュを混和することにより、モルタルの細孔構造は緻密化することで Cl^- や酸素、水分の外部からの供給は抑制される。さらに、細孔容積が小さくなることで、細孔溶液中の Cl^- 濃度は、上昇することも考えられる。今後は、このような観点も含めた評価が必要である。

5. モルタル中铁筋の電気化学的指標

28 日間の封緘養生後に乾湿繰返し環境で保管した鉄筋入りモルタル供試体に関して、鉄筋の自然電位の経時変化を図-3 に、モルタルの液抵抗の経時変化を図-4 に示す。

ASTM C876 で規定された腐食状況の判定基準によると、 $-0.24 \text{ V vs Ag/AgCl}$ よりも卑な電位の場合は 90% 以上の確率で腐食、 $-0.09 \text{ V vs Ag/AgCl}$ よりも貴な場合は 90% 以上の確率で非腐食、その間の電位の場合は不確定となっている。図-3 によると、各配合の電位は経時的に変動しているが、フライアッシュを混和した場合は、無混和の場合よりも貴な電位を示しており、乾湿繰返しの経過に伴い、徐々に貴変している。

図-4 より、全体的な傾向としてフライアッシュを混和した場合には、無混和の場合よりも大きな液抵抗を示している。フライアッシュの種類としては IV 種よりも II 種の方が液抵抗の値が大きく、フライアッシュ置換率は大きい方が大きな液抵抗値を示している。また、フライアッシュを混和した場合には、液抵抗の経時的な増加も認められるが、これは、ポズラン反応の進行に伴うモルタル細孔組織の緻密化を示しているものと推定される。

6. まとめ

細骨材代替でフライアッシュを混和することにより、細孔溶液の Cl^-/OH^- モル比は、無混和の場合よりも上昇したが、モルタルとしての Cl^- 固定化能力やモルタル液抵抗は、向上していたことから、鉄筋防食効果が得られる可能性があると考えられる。

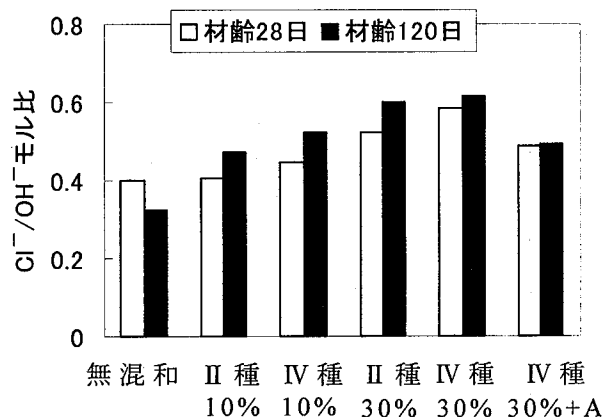


図-2 細孔溶液中の Cl^-/OH^- モル比

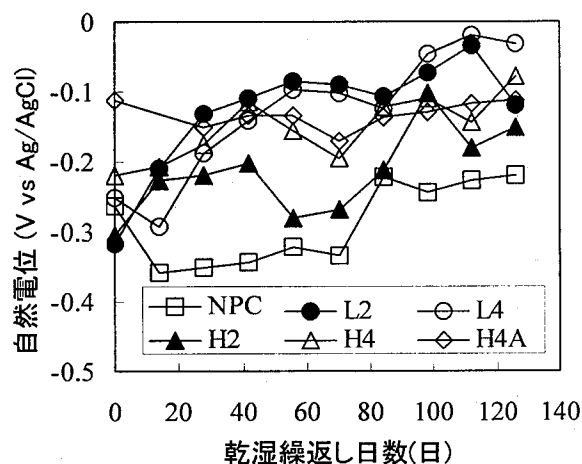


図-3 自然電位の経時変化

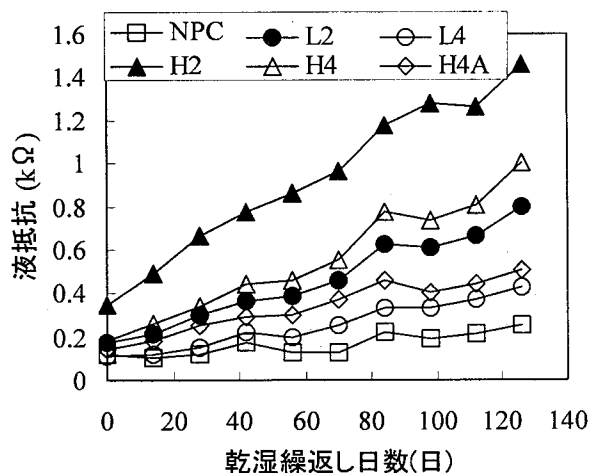


図-4 液抵抗の経時変化