

徳島大学	学生会員	○田中辰弥
徳島大学	正会員	上田隆雄
電気化学工業	正会員	七澤章
徳島大学	フェロー会員	水口裕之

1. はじめに

環境問題や不足する天然骨材の代替骨材として石炭火力発電所から多量に発生するフライアッシュの利用を推進する動きがある。しかしながら、フライアッシュを混和したコンクリートは、フライアッシュのポゾラン反応により、コンクリート中の細孔溶液の pH やイオン組成の変化、細孔構造の変化により酸素や水分などの物質透過抵抗性やポゾラン反応生成物により Cl^- の固定化能力が変化するとされており、これらの影響を定量的に評価し、コンクリート中の鉄筋腐食挙動を把握することは、フライアッシュを混和したコンクリートの塩害による劣化進行過程を予測する上で重要である。そこで本研究では、フライアッシュを細骨材代替で混和した供試体の鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度とモルタル供試体の細孔溶液中のイオン濃度分析、熱分析及び細孔径分布を測定、鉄筋コンクリート供試体を長期間塩水に浸漬した時の鉄筋腐食挙動について検討し、これらの結果を総合して、フライアッシュの種類や置換方法が、異なる塩害劣化環境におけるコンクリート中の Cl^- 固定化と鉄筋腐食に与える影響について検討を行った。

2. 実験概要

本研究で用いた供試体は、 $\phi 50 \times 100$ mm の円柱モルタル供試体（細孔溶液抽出および熱分析用）、 $100 \times 100 \times 400$ mm の角柱モルタル供試体、 $100 \times 100 \times 300$ mm の角柱コンクリート供試体とした。モルタル配合は単位セメント量を 500 または 600 kg/m^3 、 $\text{W/C} = 60\%$ とし、フライアッシュ II 種を無混和、セメント質量に対して 20% および 60% 置換した全 6 配合とした。モルタル円柱供試体はイオン組成を調べるため、初期混入 Cl^- 濃度 10 kg/m^3 となるよう NaCl を混入した。モルタル角柱供試体は、かぶり 20 mm および 25 mm の位置にそれぞれみがき丸鋼 $\phi 13$ を 1 本ずつ、供試体中央に照合電極を 1 本配置した。コンクリート配合は、 $\text{W/C} 60\%$ の普通コンクリートを基準配合とし、これに対してフライアッシュ II 種混和の場合に単位セメント量の 30% または単位細骨材量の 10% 容積置換、フライアッシュ IV 種混和の場合に単位細骨材量の 10% または 30% 容積置換の全 5 配合とし、かぶり 20 mm と 40 mm に丸鋼 $\phi 13$ を 1 本ずつ配置した。円柱モルタル供試体は、28 日および 120 日の封緘養生後に、細孔溶液抽出を行い、 Cl^- および OH^- 濃度を測定、熱分析により結合水量と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成量を測定した。角柱モルタル供試体は 28 日間の封緘養生後、照合電極周辺に $10\% \text{ NaCl}$ 溶液を浸透させ、自然電位を 1 時間間隔で連続的にモニタリングした。鉄筋に腐食発生後、供試体を解体し、深さ方向における塩化物イオン濃度を測定し、鉄筋の腐食発生限界塩化物イオン濃度を求めた。角柱コンクリート供試体は、 10% の NaCl 溶液に 549 日間浸漬させた後、硬化コンクリート中の塩分濃度および鉄筋腐食量を測定した。

3. 実験結果と考察

材齢 28 日間および 120 日間封緘養生したモルタルから高圧抽出した細孔溶液中の Cl^-/OH^- 比を図-1 に示す。単位セメント量 500 kg/m^3 を 5、 600 kg/m^3 を 6、FA 無混和を N、 20% 混和を L、 60% 混和を H とした。材齢 1 ヶ月と 4 ヶ月を比較すると FA を混和した場合 Cl^-/OH^- 比が大きく増加している。これ

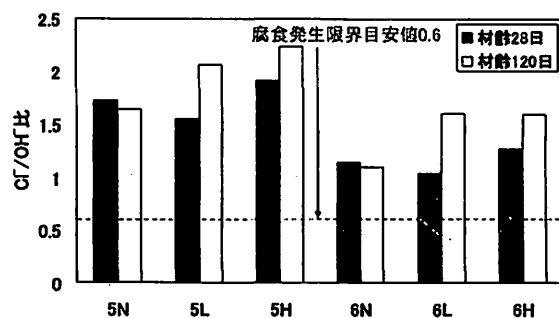


図-1 細孔溶液中の Cl^-/OH^- モル比

は、FA のポズラン反応で $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が消費されたことにより、細孔溶液中の OH^- 濃度が大きく低下したためと考えられる。また、5 シリーズに比べ 6 シリーズのほうが Cl^-/OH^- 比が小さい。これは、単位セメント量が増えると Cl^- の固定化量が増え、 Cl^- 濃度が小さくなったためと考えられる。

次に、角柱モルタル供試体の鉄筋腐食発生限界濃度の計算値および拡散係数の結果を表-1 示す。この実験では横打ちしたため、5H、6N、6L、6H の供試体で沈下ひび割れが発生し、発錆限界濃度は小さくなってしまった。5N と 5L の結果を比較すると、フライアッシュを混和した 5L のほうが発錆限界濃度が小さくなるのがわかる。また、拡散係数を比較すると、5 シリーズも 6 シリーズもフライアッシュを混和した配合のほうが無混和よりも小さくなっている。これはフライアッシュを混入したことにより細孔組織が緻密化され、遮塩性が向上したためである。

次に 549 日間塩水に浸漬した硬化コンクリート供試体の全塩分量を図-2 に、鉄筋腐食面積率を図-3 に示す。配合名は、フライアッシュ無混和の場合を N、フライアッシュⅡ種をⅡ、フライアッシュⅣ種をⅣ、セメント代替を IN、細骨材代替を EX、10%置換を L、30%置換を H とした。全塩分量の分布を見ると、フライアッシュ無混和の N 配合に対し、フライアッシュを混和した配合では暴露面の距離が大きくなるほど塩分量が小さくなり、 Cl^- 浸透量が大きく抑制されていることがわかる。また、セメント代替に比べて細骨材代替した配合の方が Cl^- 浸透量は小さくなり、細骨材代替の方が Cl^- 浸透抑制効果があり、その置換量が大きくなるほど抑制効果も大きくなる傾向がある。

鉄筋腐食面積率では、全配合においてかぶり 20mm よりかぶり 40mm のほうが腐食面積率が小さくなっている。また、N 配合よりも細骨材代替で置換した配合は腐食面積率が小さくなっている。フライアッシュを細骨材代替で置換するほうが鉄筋腐食の抑制効果があると考えられる。N 配合よりもセメント代替で置換したⅡ INH 配合のほうが大きくなった要因としては、初期材齢では細孔量が大きく、拡散係数も大きかったため、早期に腐食が発生し、腐食面積も大きくなったと考えられる。

4. まとめ

- ・フライアッシュを混和した場合、無混和よりも細孔溶液中の Cl^-/OH^- 比は大きくなった。また、細孔溶液中の Cl^- および OH^- 濃度は配合条件から推定できる可能性が認められた。
- ・フライアッシュを混和した場合、細孔組織の緻密化によって、無混和の場合よりも Cl^- の拡散係数が小さくなる傾向が見られた。また、フライアッシュの混和量が増加するほど拡散係数の値は小さくなった。
- ・フライアッシュを細骨材代替で置換した供試体は、腐食面積率が小さくなる傾向であった。

表-1 発錆限界濃度と拡散係数

	電位 低下 時間(h)	発錆限界 濃度(計算 値)(kg/m^3)	拡散 係数 (cm^2/sec)
5N	2260	4.03	1.93×10^{-7}
5L	3051	1.38*	7.8×10^{-8}
5H	337	5.14×10^{-5}	1.15×10^{-7}
6N	218	4.76×10^{-2}	4.4×10^{-7}
6L	75	9.11×10^{-8}	3.4×10^{-7}
6H	338	7.89×10^{-4}	1.43×10^{-7}

*実際の塩化物イオン濃度の分布から考えると $3.20 \text{kg}/\text{m}^3$ となる。

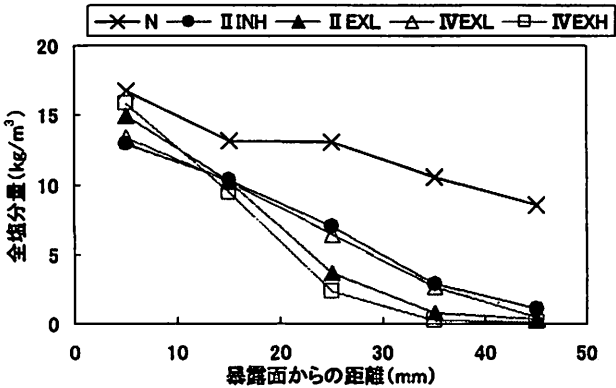


図-2 浸漬 549 日における全塩分量の分布

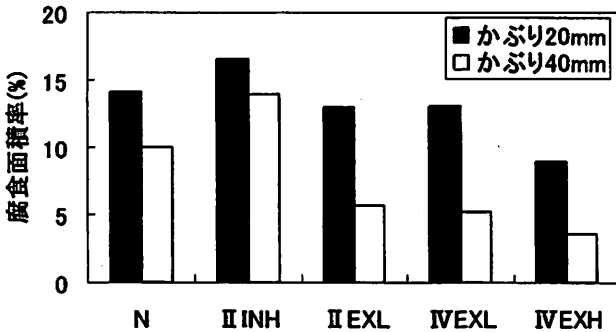


図-3 鉄筋腐食面積率