

フライアッシュを混和したモルタル中の細孔溶液組成と鉄筋発錆限界に関する検討

徳島大学大学院	学生会員	○進藤 義勝
徳島大学大学院	正会員	上田 隆雄
日建技術コンサルタント	正会員	田中 辰弥
電気化学工業	正会員	七澤 章

1. はじめに

環境への配慮から、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、ポズラン反応により、コンクリート中の細孔溶液の pH やイオン組成が変化するとともに、細孔構造が変化することで、酸素や水分などの物質透過抵抗性や Cl⁻の固定化能力が変化する。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、フライアッシュを混和した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イオン組成と鉄筋腐食に与える影響について検討を行った。

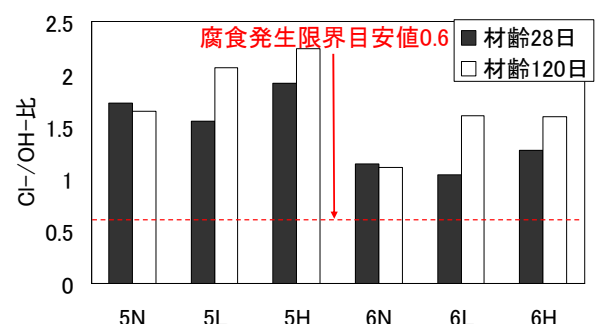
2. 実験概要

本研究で用いた供試体は、φ 50×100 mm の円柱モルタル供試体（細孔溶液抽出および熱分析用）、100×100×400 mm の角柱モルタル供試体、100×100×300 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 600kg/m³、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/m³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 φ 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、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 20mm と 40mm に丸鋼 φ 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 Ca(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%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 550 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 500kg/m³を 5, 600kg/m³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

図-1 モルタル細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻モル比

キーワード フライアッシュ、鉄筋発生限界、コンクリート、モルタル、細孔溶液

〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 徳島大学工学部建設工学科 TEL088-656-2153 FAX088 - 656 - 7351

ると FA を混和した場合 Cl^-/OH^- 比が大きく増加している．これは、FA のポゾラン反応で $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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である．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、細孔溶液中の Cl^- 濃度が小さくなったためである．

次に、角柱モルタル供試体の発錆限界 Cl^- 濃度の計算値および Cl^- の見かけの拡散係数の計算結果を表-1 示す．この実験ではコンクリートを横打ちしたため、5H、6N、6L、6H の供試体で沈下ひび割れが発生し、発錆限界 Cl^- 濃度は測定できなかったが、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若干小さくなっている．これに対して、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、物質透過性が向上したためである．

表-1 発錆限界 Cl^- 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	3.20	7.8×10^{-8}
5H	337	—	1.15×10^{-7}
6N	218	—	4.4×10^{-7}
6L	75	—	3.4×10^{-7}
6H	338	—	1.43×10^{-7}

550 日間塩水に浸漬した硬化コンクリート供試体中の全塩分量分布を図-2 に、はつり出した鉄筋の腐食面積率を図-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、 Cl^- 浸透量が大幅に抑制されていることがわかる．また、セメント代替の配合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^- 浸透抑制効果がある．フライアッシュへの置換量が大きくなるほどこの抑制効果は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ことで鉄筋腐食の抑制効果が期待できると考えられる．N 配合よりもセメント代替で置換した II INH 配合のほうが大きな腐食面積率となったのは、単位セメント量の減少によって初期材齢ではモルタル中の細孔量が大きくなり、 Cl^- の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ものと考えられる．

4. まとめ

- 1) フライアッシュを混和した場合、無混和よりもモルタル細孔溶液中の Cl^-/OH^- 比は大きくなった．
- 2) 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^- の見かけ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．
- 3) フライアッシュを細骨材代替で混和した供試体は、無混和の供試体よりも塩水浸透によるコンクリート中鉄筋の腐食面積率が小さくなる傾向であった．

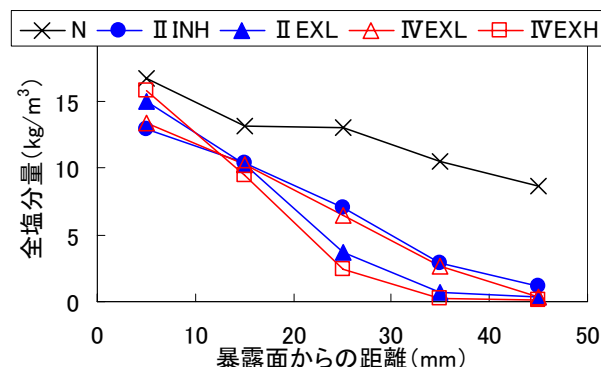


図-2 浸漬 550 日における全塩分量の分布

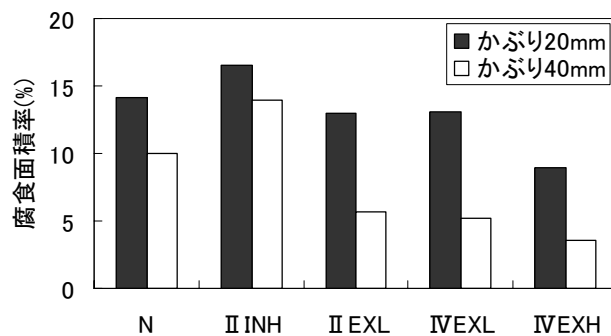


図-3 鉄筋腐食面積率