

塩水噴霧環境下におけるフライアッシュ混入モルタルの塩分浸透性と鉄筋腐食性状

金沢大学大学院 ○辻 裕和 金沢大学大学院 牧尾 誠
金沢大学工学部 大橋勇気 金沢大学工学部 鳥居和之

1. はじめに

近年、石炭火力発電所から産出されるフライアッシュのコンクリート用混和材としての有効利用が望まれている。1999年のJIS規格の改定により、フライアッシュの利用範囲は拡大したが、わが国で比較的多量に産出するⅢ種灰、Ⅳ種灰、JIS規格外のものの有効利用は進んでいないのが実状である¹⁾。塩分環境下におけるフライアッシュを使用したコンクリートでは、ポゾラン反応の進行により緻密な内部組織が形成されることによる塩分浸透の抑制効果と鉄筋周囲の水酸化カルシウムが消失することによる鉄筋の不動態皮膜の不安定化が同時に生じており、相反する両者の観点から鉄筋腐食挙動に及ぼすフライアッシュの品質やその置換率の影響について明らかにする必要がある。

本研究は、フライアッシュ混入モルタルの塩分浸透性および鉄筋腐食性状を把握することを目的として、塩水噴霧環境下に暴露した鉄筋埋設モルタル試験体の電気化学的モニタリングにより、フライアッシュ混入モルタルの鉄筋腐食挙動を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および試験体の作製

セメントは、普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³, ブレーン比表面積:3310cm²/g)を使用した。フライアッシュは、Ⅱ種灰(東北電力原町火力産)、Ⅳ種灰およびJIS規格外(北陸電力富山新港火力産)を用いた。フライアッシュの化学成分および物理的性質を表1に示す。細骨材はセメント強さ試験用標準砂(ISO 679 準拠)を用いた。モルタルの水結合材比は45%および55%であり、フライアッシュの置換率を20%および40%とした。圧縮強度および電気抵抗値の測定に使用した円柱試験体(直径50mm、高さ100mm)はJIS R 5201-97に従って作製した。鉄筋腐食測定用試験体はかぶり15mmの位置に直径10mmのみがき丸鋼およびステンレス丸鋼(対極)を埋設し、塩分浸透を受ける暴露面以外はエポキシ樹脂で塗装した。試験体は、温度20℃の恒温室で7日間の湿布養生を行った後に、鉄筋腐食試験に供した。

2.2 試験方法

塩水噴霧試験は、5%のNaCl溶液の塩水噴霧8時間と外気導入16時間を1サイクルとし、コンピュータ制御の環境試験装置により実施した。電気化学的モニタリングは、自然電位法、分極抵抗法(K値を26mVとして腐食電流値を計算)、ACインピーダンス法である。鉄筋腐食試験体と同じ位置に暴露した円柱試験体は、鉄筋腐食試験終了後(暴露期間500日)に表面から1cm毎に切断し、全塩分量の測定(2N・HNO₃溶解、JCI-SC 5)を行った。鉄筋埋設モルタル試験体の解体調査では、はつり出した鉄筋の腐食減量および腐食面積の測定、試験体の中性化深さの測定、XRDおよびDSCによる鉄筋周囲の水酸化カルシウム量の測定などを行った。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮強度および電気抵抗値

フライアッシュ混入モルタル(水結合材比55%、置換率20%)の圧縮強度および電気抵抗値を図1に示す。フライアッシュ混入モルタルでは、Ⅱ種灰、Ⅳ種灰およびJIS規格外の間で強度発現に多少の差が生じるが、材齢182日ではフライアッシュの品質による相違は小さくなった。一方、セメント単味のものの電気抵抗値は材齢による変化がほとんど見られないが、フライアッシュ混入モルタルは材齢にともない電気抵抗値が直線的に増加した。これは、フライアッシュのポゾラン反応により内部組織が緻密になるとともに、細孔溶液のアルカリ度が大きく低下したことによるものである。

表1.フライアッシュの化学成分および物理的性質

使用フライアッシュ	強熱減量(%)	MB吸着量(mg/g)	ブレーン比表面積(cm ² /g)	シリカ分(%)	密度(g/cm ³)	湿分(%)
Ⅱ種	1.6	0.2	3618	52.1	2.27	0.1
Ⅳ種	4.18	1.13	4060	48.7	2.06	0.15
規格外	14.3	1.96	5400	47.4	2.02	0.15

3.2 塩分浸透状況

フライアッシュ混入モルタル(水結合材比 45%および 55%、置換率 20%)の塩分浸透状況を図 2 に示す。水結合材比 45%の場合、フライアッシュ混入モルタルはセメント単味と比較して鉄筋位置(15~25mm)での塩分量は大きく低減されたが、フライアッシュの種類による相違は認められなかった。一方、水結合材比 55%の場合、セメント単味と比較して JIS 規格外、IV 種灰、II 種灰の順番で鉄筋位置での塩分量が低減されていた。フライアッシュの品質と塩化物イオンの固定化との関係は不明であるが、水結合材比が大きくなるとともに塩分浸透に及ぼすフライアッシュの品質の影響が現われるものと考えられた。

3.3 鉄筋腐食の電気化学的モニタリング

フライアッシュ混入モルタル(水結合材比 45%および 55%、置換率 20%)の腐食電流値を図 3 に示す。水結合材比 45%の場合、フライアッシュ混入の有無にかかわらずいずれの試験体も暴露期間終了まで非腐食領域(腐食電流値が $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下では不動態皮膜が健全な状態にあるとされている)にあり、とくに良質な II 種灰のものは塩水噴霧の影響をまったく受けず、暴露期間とともに腐食電流値が次第に減少していった。一方、水結合材比 55%の場合、セメント単味および IV 種灰のものは暴露 400 日以後に不確定領域へと移行していったが、それら以外のものは暴露期間終了時まで非腐食領域に留まった。腐食電流値は非腐食領域と不確定領域との間を変動する傾向が観察されるが、これは不動態皮膜の破壊と再成が同時に進行していることによるものと推測された。すなわち、塩分の浸透により局所的に鉄筋の不動態皮膜の破壊が生じても、鉄筋の界面付近に十分な水酸化カルシウムが存在している時は水酸化物イオンが供給されるので、不動態皮膜が短期間に再成されるが、塩分の浸透による水酸化カルシウムの分解が進み、水酸化カルシウムが消費されると、不動態皮膜の再成が困難になり、その時点で急速に鉄筋の腐食が進行するものと考えられた。

暴露終了後の割裂試験体の中性化深さに関して、中性化深さは 1~2mm 程度であり、塩水噴霧環境下では中性化が鉄筋腐食に及ぼす影響は認められなかった。また、はつり出した鉄筋の目視観察では、水結合材比 55%のセメント単味および IV 種灰のものに軽微な鉄筋腐食が観察された。

4. まとめ

塩水噴霧環境下に暴露したフライアッシュ混入モルタルでは、フライアッシュの品質による影響をあまり受けず、セメント単味と比較して塩分浸透の抑制効果が確認された。また、セメント単味および IV 種灰のもの(水結合材比 55%)のみに鉄筋腐食が観察されたが、その結果は電気化学的モニタリングの結果とも良く一致していた。

【参考文献】

1) 土木学会:フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)

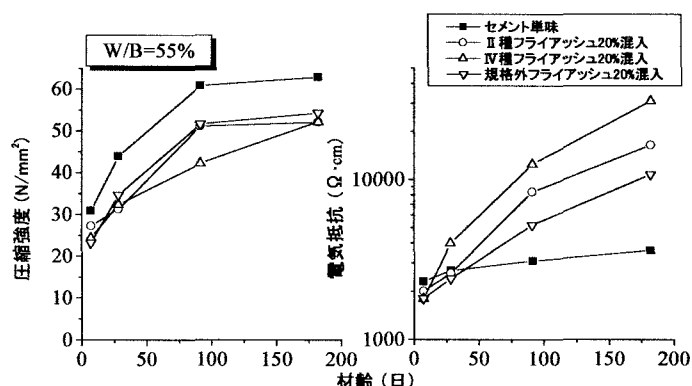


図 1. 圧縮強度および電気抵抗値の経時変化
(水結合材比 55%, 置換率 20%)

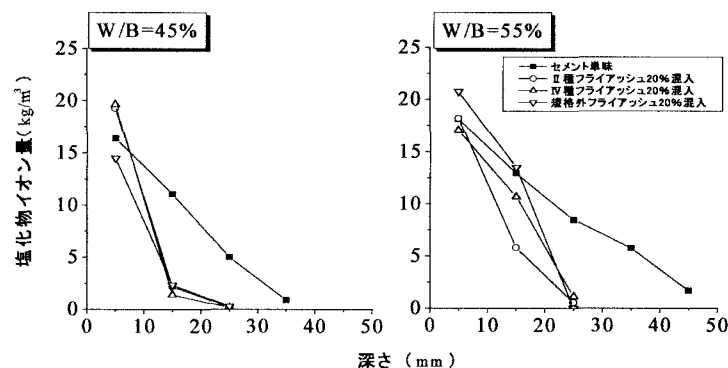


図 2. 塩分浸透状況(置換率 20%)

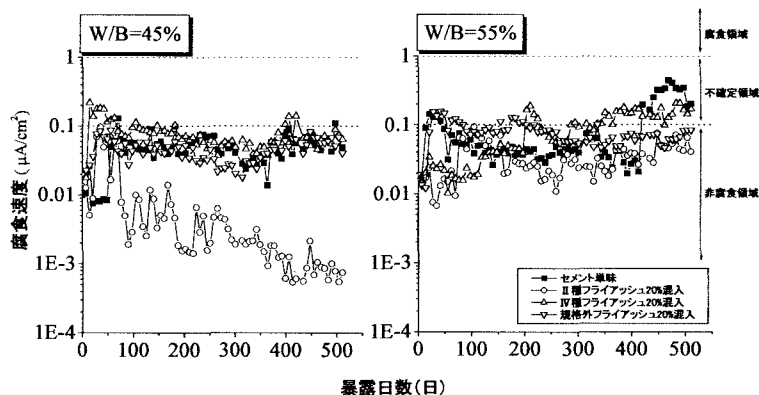


図 3. 腐食電流値の経時変化(置換率 20%)