

# 温度と塩化物イオン濃度がフライアッシュコンクリート中の鉄筋腐食速度に与える影響

徳島大学大学院 学生会員 ○宮田啓志 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄  
 徳島大学大学院 正会員 塚越雅幸 四国電力 正会員 高野 剛

## 1. はじめに

フライアッシュ（以下、FA とする）を混和したコンクリートは、ポゾラン反応による細孔構造の緻密化により、塩害の劣化因子である塩化物イオン（以下、 $Cl^-$  とする）の浸透を低減できることが指摘されている。しかし、今後の塩害に対するコンクリート構造物の耐久性設計では、鉄筋発錆以降の進展期も考慮した劣化進行予測が不可欠であり、この場合、コンクリート中の鉄筋腐食速度の予測が必要となる。そこで本研究では、FA の混和がコンクリート中の鉄筋腐食速度に与える影響を実験的に検討することを目的として、あらかじめ内在塩分の形で  $Cl^-$  を混入したコンクリートを用いて RC 供試体を作製し、鉄筋の分極抵抗を定期的に測定した。鉄筋腐食速度については、測定された分極抵抗値から推定し、既往の検討で指摘されているような、 $Cl^-$  濃度の影響、および、環境温度の影響についても併せて検討することとした。

## 2. 実験概要

### 2.1 コンクリート配合

本実験で用いたコンクリートの配合を表-1 に示す。水セメント比 (W/C) は 55% で一定とした。FA 無混和の N を基準配合として、これに対し内割または外割で、FA を置換率 20% で混和した。配合名は、II 種 FA を内割混和したものを II IN、II 種と IV 種 FA を外割混和したものをそれぞれ II EX および IV EX とした。また、各配合について、初期混入  $Cl^-$  量が 3.0、5.0 および 8.0  $kg/m^3$  となるようにあらかじめ NaCl を練混ぜ水に溶解させて混入した。なお、表-1 に示すように、AE 減水剤は結合材量に対して 1% 添加とし、スランプを 8cm で統一させるために、単位水量と細骨材率で調整を行った。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、FA は、JIS A 6201 で規定された II 種 FA および、IV 種 FA を使用した。細骨材は大分県津久見市産石灰砕砂を、粗骨材は大分県津久見市産石灰砕石をそれぞれ使用した。鉄筋コンクリート供試体は、図-1 に示すような形状・寸法であり、異形鉄筋 D13 (SD345) を 1 本配置したものとした。なお、コンクリート中の鉄筋埋込み部分の内コンクリートと接する部分以外は、エポキシ樹脂で被覆することで防食処理を行った。供試体は打設翌日に脱型し、20°C の恒温室中で 28 日間の封緘養生を行った。

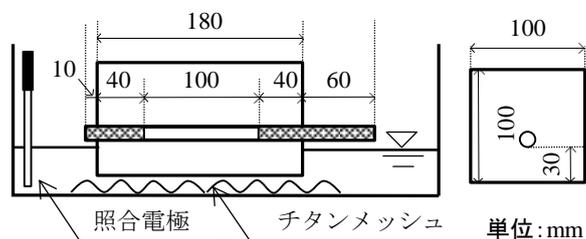


図-1 鉄筋コンクリート供試体の概要と測定状況

### 2.2 試験方法

養生が終了した鉄筋コンクリート供試体は湿布で包み、ジップ付きのビニル袋に入れて恒温環境で保管した。温度については 20°C と 40°C を 1 週間ずつ交代で変化させ、電気化学的鉄筋腐食評価指標の測定を、各温度で 1 週間保持した最終日に、その温度環境で実施した。測定項目はコンクリート中铁筋の自然電位、コンクリート抵抗および分極抵抗とし、照合電極には飽和 Ag/AgCl 電極、対極にはチタンメッシュを使用して、交流インピーダンス法で測定した (図-1 参照)。

## 3. 電気化学的鉄筋腐食モニタリング

$Cl^-$  濃度が 3.0  $kg/m^3$  の場合の鉄筋自然電位経時変化を図-2 に示す。これによると、自然電位は温度の影響を受けて変動しており、20°C で保管した場合の方が 40°C の場合よりも貴な電位を示している。これは、高温環境の方が鉄筋腐食を促進していることを意味している。ASTM C876-91 の腐食判定基準を参考にすると、N や

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	$G_{max}$ (mm)	SL. (cm)	単位量 ( $kg/m^3$ )						NaCl	AE 減水剤
					C	W	S	G	FA II	FA IV		
N	55	44.0	20	8	273	150	847	1088	—	—	4.94 8.24 13.18	B×1.0%
II IN	55	41.0	20	8	210	144	793	1153	52	—		
II EX	55	39.0	20	8	300	165	581	1145	126	—		
IV EX	55	39.0	20	8	309	170	575	1131	—	118		

II IN は温度変化による電位の変動が小さく、全体的に腐食領域で推移しているのに対して、FA を外割混和した II EX および IV EX は電位の変動が大きく、20℃測定値は、不確定領域に達している。これより、特に外割で FA を混和した場合には、高温環境でなければ腐食環境を改善できると考えられる。

コンクリート抵抗の経時測定データの平均値と、初期混入  $\text{Cl}^-$  濃度の関係を図-3 に示す。これによると、 $\text{Cl}^-$  濃度の違いがコンクリート抵抗値の変化に与える影響は、FA 混和の影響や温度変化の影響に比べて小さいと言える。ただし、他の配合よりも顕著に大きなコンクリート抵抗を示した II EX については、 $\text{Cl}^-$  濃度が  $5 \text{ kg/m}^3$  から  $8.0 \text{ kg/m}^3$  に増加することにより、コンクリート抵抗の低下が見られる。これは、コンクリート中において負の電荷を運ぶイオン濃度が増加することで、電流が流れやすい環境が形成されたためと考えられる。

分極抵抗の経時測定データの平均値と、初期混入  $\text{Cl}^-$  濃度の関係を図-4 に示す。これによると、40℃測定の場合には、全体的に小さな分極抵抗値を示しており、 $\text{Cl}^-$  濃度変化の影響は小さい。20℃測定の場合には、 $\text{Cl}^-$  濃度増加に伴う分極抵抗低下の傾向が見られる。既往の検討結果<sup>1)</sup>では、コンクリート中铁筋位置の  $\text{Cl}^-$  濃度は、鉄筋腐食速度に大きく影響する要因として報告されており、鉄筋腐食速度予測式でも、 $\text{Cl}^-$  濃度がパラメータとなっている場合が多い。これに対して、本研究では上述のような  $\text{Cl}^-$  濃度の影響が見られたが、温度の影響に比べると、比較的軽微な影響となっている。今回の実験では、内在塩分として供試体作製時に  $\text{Cl}^-$  を混入していることもこの一因と考えられる。実構造物では、外来塩分が浸透し、鉄筋位置の  $\text{Cl}^-$  濃度が上昇していくような場合が多いが、そのような場合には、ある時点における鉄筋位置の  $\text{Cl}^-$  濃度には、 $\text{Cl}^-$  浸透に関するコンクリート細孔構造の影響が反映されている。すなわち、鉄筋位置の  $\text{Cl}^-$  濃度が小さい場合、細孔組織が緻密で、酸素や水分の供給が抑制されていることの影響が含まれている場合があると考えられる。ただし、この点の解明については今後さらに詳細な検討が必要である。

#### 4. まとめ

(1) FA を外割で混和したコンクリートは、20℃環境ではコンクリート抵抗が大きく、また自然電位や分極抵抗からも鉄筋腐食に対する抵抗性が無混和の場合より大きいことが分かった。

(2) 分極抵抗は  $\text{Cl}^-$  濃度よりも温度依存性が強く、40℃環境では同じ  $\text{Cl}^-$  濃度でも腐食傾向が強くなった。

参考文献：1) 土木学会：コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会（338 委員会）成果報告書（その 2）、コンクリート技術シリーズ No.99, 2012.10

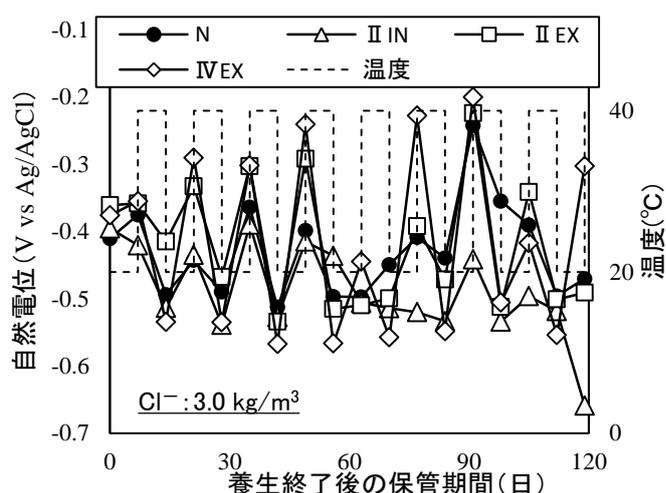


図-2 鉄筋自然電位の経時変化 ( $\text{Cl}^-: 3.0 \text{ kg/m}^3$ )

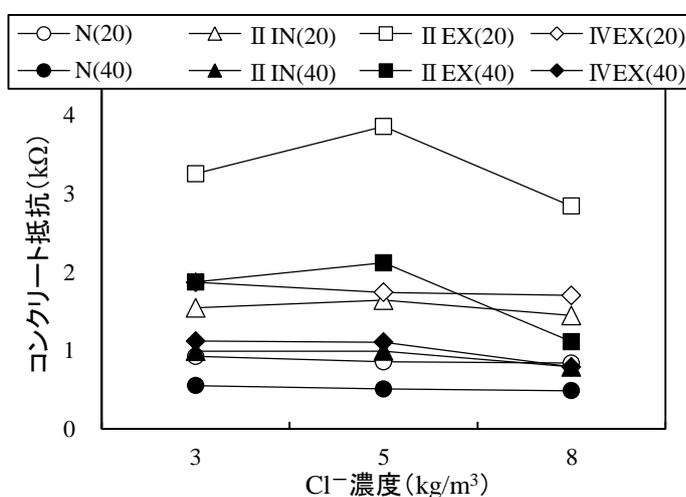


図-3  $\text{Cl}^-$  濃度とコンクリート抵抗の関係

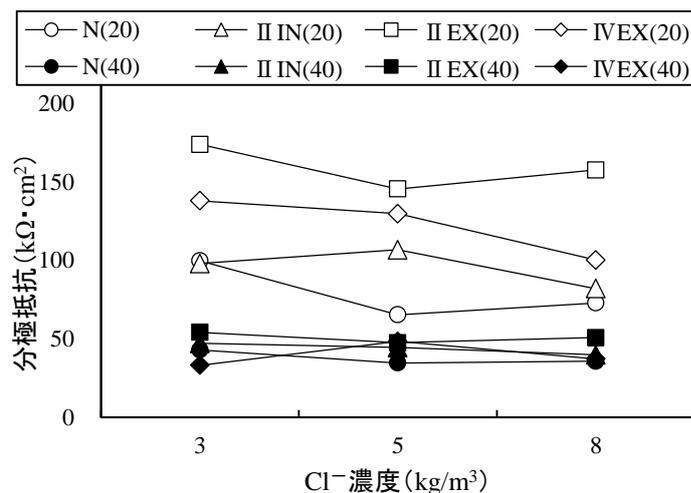


図-4  $\text{Cl}^-$  濃度と分極抵抗の関係