

V-34 フライアッシュによる置換方法がコンクリート中の鉄筋腐食挙動に与える影響

佐藤工業(株) 正会員 ○和田良太
徳島大学工学部 正会員 上田隆雄
(株)四国総合研究所 正会員 横田 優
電気化学工業(株) 正会員 七澤 章

1. はじめに

コンクリートにフライアッシュを混和した場合のコンクリート中の鉄筋腐食挙動に関する検討は少ない。本研究ではフライアッシュの混和方法として、セメント代替として用いる内割置換および細骨材代替として用いる外割置換の2種類の置換方法で作製した鉄筋コンクリート供試体に対して、塩害および中性化が単独、または複合して作用した状況を想定した促進試験を行い、コンクリート中の鉄筋腐食挙動を検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製およびコンクリートの配合条件

供試体は、10×10×15cmの角柱コンクリートに対して、かぶり20mm、40mmの位置に丸鋼SR235φ10を一本ずつ計2本配した(図1参照)。水セメント比(W/C)が55%の普通コンクリートを基準配合とし、これに対して、内割または外割で30%のフライアッシュ置換を行った。ここで、内割の場合は、単位セメント量に対する重量比で、外割の場合は、単位細骨材量に対する体積比で置換した。また、塩害による劣化が進行した環境を想定した供試体には、塩化物イオン(以下 Cl⁻)量で5.0kg/m³のNaClをあらかじめ練混ぜ水に溶解する形で混入した。コンクリートの示方配合表を表1に示す。

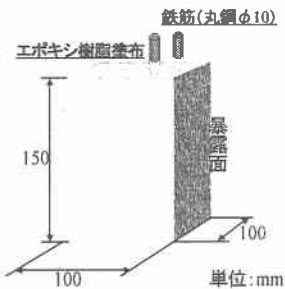


図1 供試体図

表1 コンクリートの示方配合

配合名	W/B(%)	Cl ⁻ (kg/m ³)	FA置換 率(%)	s/a (%)	Gmax (mm)	Air (%)	単位量(kg/m ³)						空気連行		AE減水
							W	C	FA	S	G	NaCl	剤(cc)	剤(cc)	
0(0)	55	0	0	45	15	7	179	325	0	847	1047	0	130	813	
0(IN30)			IN30					227	98	833	1029	0	130	813	
0(EX30)			EX30					325	222	593	1047	0	219	1368	
5(0)		5	0					325	0	839	1047	8.3	130	813	
5(IN30)			IN30					227	98	825	1029	8.3	130	813	
5(EX30)			EX30					325	222	585	1047	8.3	219	1368	

注) 供試体名は「Cl⁻量(フライアッシュ置換率(IN:内割、EX:外割))」

2.2 養生および環境条件

コンクリート打設後、材齢1日で脱型し、材齢28日まで恒温室内で封緘養生を行った。その後7日間の気中乾燥を行った上で、暴露面一面を除いた5面をエポキシ樹脂により被覆し、温度30℃、湿度60%およびCO₂濃度10%の促進中性化環境槽内に56日間静置後に、20℃の恒温室内において4日間の湿空と3日間の乾燥環境を繰り返した。

2.3 測定項目

促進中性化開始後、14日、28日、42日および56日経過後のコンクリートの中性化深さを測定した。また、塩水浸漬を91日間行った立方供試体を用いて、コンクリート中のCl⁻濃度分布を測定した。さらに、フライアッシュを混和したセメントペースト硬化体を用いて、粗骨材界面ペースト部分の微小硬度分布測定を行った。

促進中性化槽内に静置を開始した時点から供試体中鉄筋の自然電位および分極抵抗(矩形波電流分極法:周波数0.1Hz)を定期的に測定し、経時変化を検討した。照合電極には飽和塩化銀電極(Ag/AgCl)を、対極にはチタンメッシュを用いた。自然電位はASTMの判定基準を適用して検討を行った。分極抵抗Rpは腐食速度に反比例すると考えられるため、腐食速度指標1/(Rp×A)(A:鉄筋の全表面積)を用いて検討を行った。

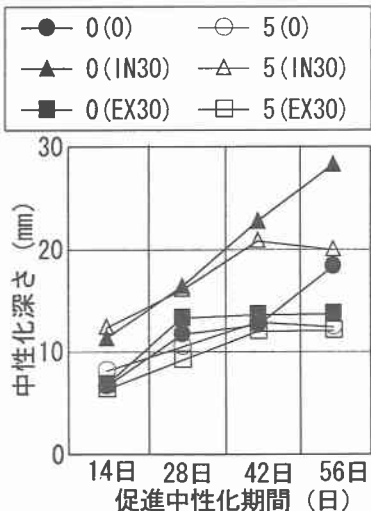


図2 中性化深さ経時変化

3. 実験結果

各配合の中性化深さ経時変化を図2に示す。フライアッシュを内割で混和した場合、中性化速度が他配合よりも大きい。これに対して、フライアッシュを外割で混和した場合、無混和と同程度の中性化速度に抑えられており、内割混和の場合に見られる中性化速度増加傾向が改善されている。

塩水浸漬91日における Cl^- 濃度分布を図3に示す。フライアッシュ無混和の供試体に比べ、フライアッシュを混和した場合 Cl^- 浸透量が抑制されており、フライアッシュを混和することによってコンクリートが緻密化し、鉄筋腐食因子の浸透が抑制されていることが分かる。

材齢28日および、91日における粗骨材界面ペースト部分の微小硬度測定結果を図4に示す。材齢28日では、各配合とも微小硬度の小さい遷移帯の幅は比較的大きい。材齢91日の時点では、全ての配合において微小硬度の小さい遷移帯の幅が、材齢28日の時点よりも小さくなっており、骨材表面から $100\mu\text{m}$ 以上離れたバルク部の微小硬度は、 $40\sim 50\text{HV}$ 程度ではほぼ一定となる。また、内割および外割でフライアッシュを混和した場合に関して、フライアッシュ無混和の場合よりも微小硬度の小さい遷移帯の幅が小さくなっている。これは、フライアッシュのポズラン反応によりセメント硬化体が緻密化したことが原因と考えられ、フライアッシュの混和は特に長期材齢における、酸素、水分、各種イオンの物質透過阻止性向上に有効であるものと考えられる。

初期混入 Cl^- 量 $5\text{kg}/\text{m}^3$ の供試体中鉄筋の自然電位経時変化を図5に示す。これによると、促進中性化期間中は供試体への水分供給量が少ないために、自然電位は不確定領域を推移しているが、乾湿繰り返し環境に移ったあとは、水分の供給に伴って電位が卑変している。特にフライアッシュを内割で混和した場合の自然電位は中性化の影響で大きく卑変している。同じ供試体中鉄筋の腐食速度指標経時変化を図6に示す。腐食速度指標の値はフライアッシュ無混和の場合が最も大きく、フライアッシュを混和した配合、特に外割の場合に小さな値となっている。

4. まとめ

本研究結果をまとめると次のようになる。

①フライアッシュを内割で混和したコンクリートの弱点である中性化速度の増大を外割で混和することにより抑制できた。②フライアッシュを混和することにより、外来塩分のコンクリートへの浸透は抑制され、特に外割でその効果が大きかった。③フライアッシュを混和することにより粗骨材界面硬化体組織が改善された。④フライアッシュを混和することにより、腐食速度指標の値が概ね抑制される傾向を示したが、実際の腐食速度が抑制されているかどうかについては、鉄筋腐食量による確認が必要である。

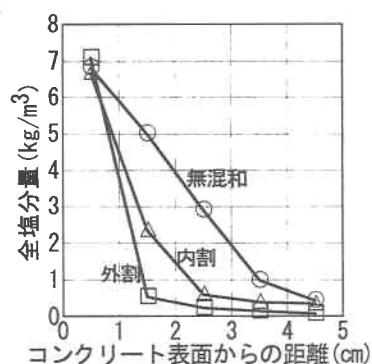


図3 Cl^- 濃度分布

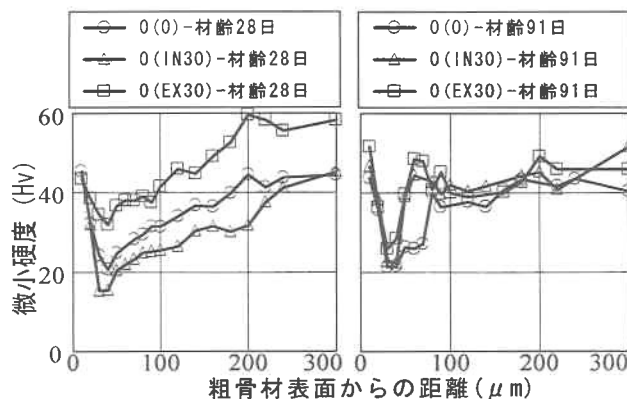


図4 粗骨材界面ペースト部分の微小硬度分布

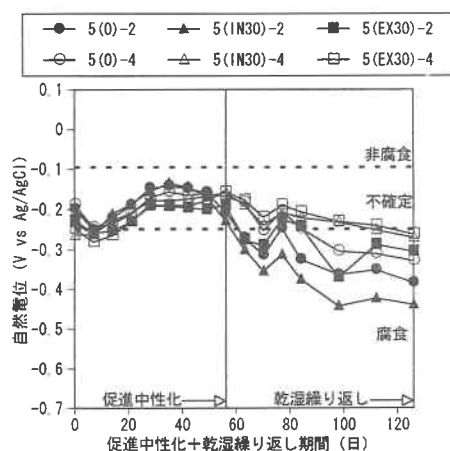


図5 自然電位の経時変化

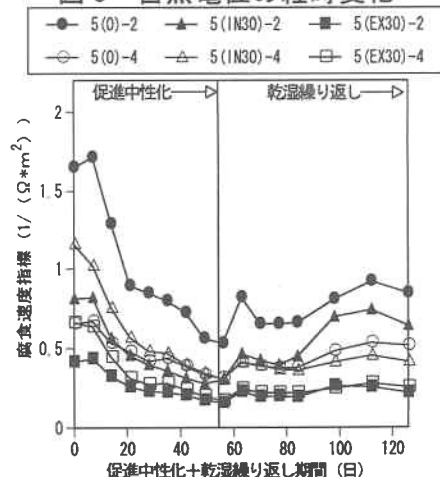


図6 腐食速度指標の経時変化