

コンクリートの中性化程度が再アルカリ化工法による補修効果に与える影響

徳島大学 学生会員 ○高橋博司 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄
デンカ（株） 正会員 七澤章 東京工業大学大学院 正会員 中山一秀

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の中性化による劣化に対して、電気化学的防食工法である再アルカリ化工法の施工実績が近年増加しているが、通電後のコンクリート中におけるイオン濃度分布や鉄筋防食効果は不明な点が多い。そこで本検討では、中性化に伴う通電前の劣化状態の違いが通電後の補修効果に与える影響を評価することとした。

2. 実験概要

本研究で用いたコンクリートの配合を表-1に示す。コンクリートの水セメント比は60%とし、除塩不足の海砂を想定し Cl^- 量が 3.0kg/m^3 となるように、細骨材代替で NaCl を練混ぜ水に溶解して混入したものを NCI とした。また、NCI にフライアッシュ（FA）

をセメント代替で30%混和したものを FACI とした。本検討で作製した供試体を図-1に示す。供試体は脱型後 20°C 恒温室中で14日間封緘養生を行った後、4週間乾燥させ、通電面1面を除き他の5面についてはエポキシ樹脂を塗布し絶縁処理を行った。

養生終了後の各供試体について、JIS A 1153 に準拠し、 20°C 、60%R.H.、 CO_2 濃度 5%で促進中性化を行った。この時、中性化深さは 30 mm、または鉄筋腐食開始時点での中性化深さを目標値とした。鉄筋腐食開始時の判断基準として ASTM C 876-91 に従い、自然電位が $-0.24\text{ V vs Ag/AgCl}$ を下回った時点とし、腐食開始時の中性化深さは約 15 mm となった。また、促進中性化を実施しない供試体も併せて作製し、通電を行うまでは 20°C 恒温室中で保管した。所定の促進中性化終了後に、再アルカリ化処理のために $1.5\text{N K}_2\text{CO}_3$ を電解液として通電処理を行った。通電処理は陽極材にチタンメッシュ、陰極を鉄筋として直流電流を流し、電流密度は通電面に対して 1.0 A/m^2 、通電期間は14日間とし 20°C 恒温室中で実施した。なお、それぞれの場合について無通電供試体も作製し、通電期間中は 20°C 恒温室で湿空状態で保管した。

通電終了後コンクリート中のイオン濃度分布 (K^+ 、 Cl^-)、および pH を 10 mm 間隔で測定した。 K^+ は硝酸抽出により作製した試料に対して原子吸光光度計を使用し測定した。 Cl^- は JIS A 1154 に準拠し測定し、本検討では温水抽出 Cl^- を可溶性 Cl^- とした。pH は微粉碎した試料 12.5 g と純水 25 ml を入れ、スターラーで3分間攪拌後5分間静置し、上澄み液の pH を測定した。また、通電後の鉄筋腐食促進環境における自然電位の経時変化を測定し、鉄筋防食効果を評価した。乾燥 (20°C 、60%R.H.) 3日間、湿潤 (40°C 、95%R.H.) 4日間を1サイクルとし2週に1回測定した。照合電極は、飽和銀塩化銀電極 Ag/AgCl 、対極にはチタンメッシュを用いて測定した。

3. 実験結果および考察

3. 1 通電前後におけるイオン濃度分布

コンクリート中の K^+ 濃度を図-2に示す。凡例は配合名-中

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)							(C+FA)×%	
			C	W	S	G	FA	NaCl		WRA	AEA
NCI	60	48	300	180	828	902	—	4.9		0.5	0.012
FACI			210		814	887	90			0.3	0.015

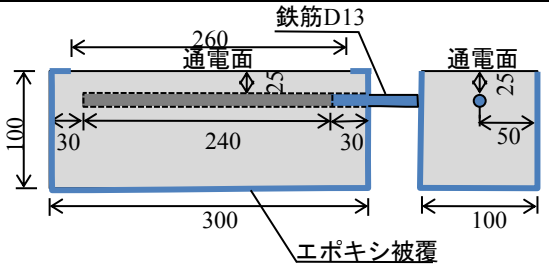


図-1 RC 供試体の概要

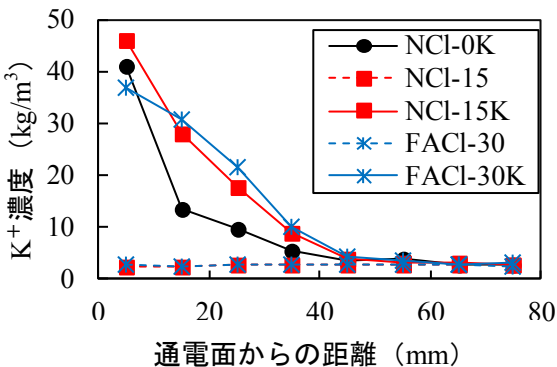


図-2 コンクリート中の K^+ 分布

性化深さ (mm), K による通電を示す。通電供試体ではコンクリート表面から電解液の浸透に伴って多量の K^+ が浸透していることがわかる。NCI-15K や FACI-30K では NCI-0K と比較して K^+ の濃度が高くなった。これらの供試体は促進中性化を実施したため、コンクリート細孔容積が増加したことや、pH が変化することにより電気二重層の厚さが変化することで電気浸透流の速度が増加した可能性が考えられる。

コンクリート中の pH 分布を図-3 に示す。促進中性化を実施した NCI-15K の中性化部分は、NCI-0K と比較して通電後の pH が低い。これは、通電によって回復する pH が液相の pH であり、NCI-15K の固相は炭酸化反応後の中性を示すためと考えられる。また、FACI-30K では他の通電供試体と比較して pH が低くなった。これは、FA をセメント代替で 30% 混和したことにより $Ca(OH)_2$ 量が低下したこと、および FA のポズラン反応時に $Ca(OH)_2$ が消費され、NCI 配合と比較して pH が低いところに通電を実施したことが原因と考えられる。また、通電後の pH は図-2 に示すアルカリの K^+ の浸透量だけに依存せず、通電前の固相の中性化の影響も受けるため、pH の分布とアルカリの K^+ の分布が一致するとは限らない。

通電前後における可溶性 Cl^- /全 Cl^- を図-4 に、通電前後における全 Cl^- 濃度分布を図-5 に示す。図-4 によると、通電前の NCI-15, FACI-30 において、中性化した部分は可溶性 Cl^- の比率が大きくなっている。これは、フリーデル氏塩として固定された Cl^- が中性化により解離したためと考えられる。そのため可溶性 Cl^- が増加し、通電によって陽極側へ電気泳動することで、図-5 に示す通り、通電後の NCI-15K や FACI-30K は NCI-0K と比較して中性化部分で脱塩効果が顕著に表れており、特に中性化深さが最も大きい FACI-30K は脱塩効果が大きくなっている。また、図-4 によると、通電前後においてかぶり 25 mm までは可溶性 Cl^- と全 Cl^- の比率に変化は少なく、通電後に固定 Cl^- の一部が解離し新たな平衡状態が形成されたものと考えられる。

3. 2 通電後における鉄筋防食効果

RC 供試体の鉄筋腐食促進期間における自然電位の経時変化を図-6 に示す。通電後はカソード分極された影響で自然電位が大きく卑な値を示しているものの、鉄筋腐食促進期間 2 週には無通電供試体よりも貴な電位を示しており、通電による鉄筋防食効果が表れている。また、図-3, 図-5 から、通電後における鉄筋位置でのコンクリートの pH が高いものほど、通電後の自然電位が高い傾向を示した。これより、通電により回復した後の pH 値が通電後の鉄筋防食状態に影響を与えているものと考えられる。

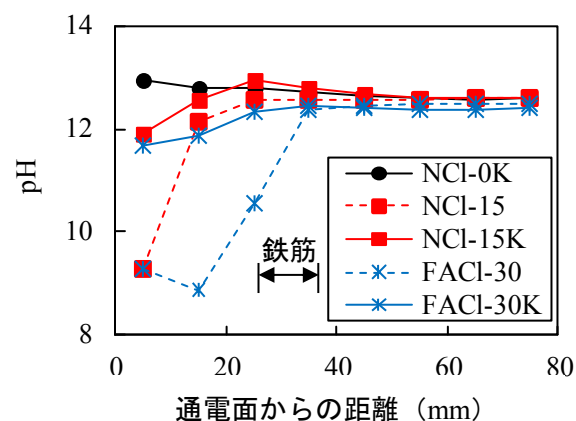


図-3 コンクリート中の pH 分布

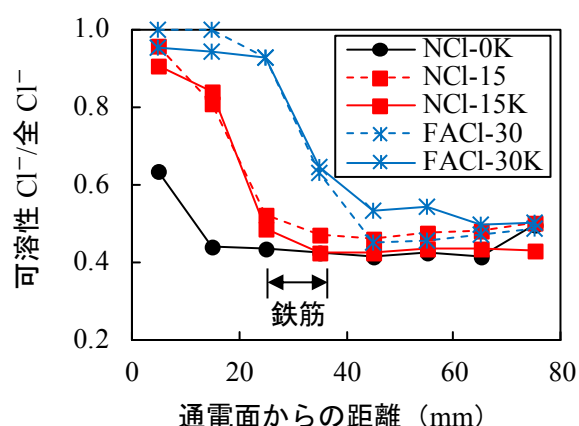


図-4 コンクリート中の可溶性 Cl^- /全 Cl^-

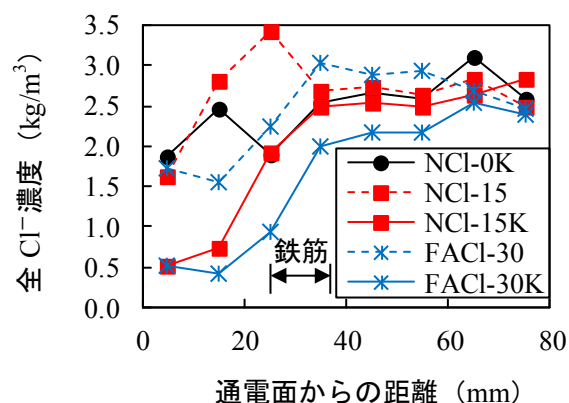


図-5 コンクリート中の全 Cl^- 分布

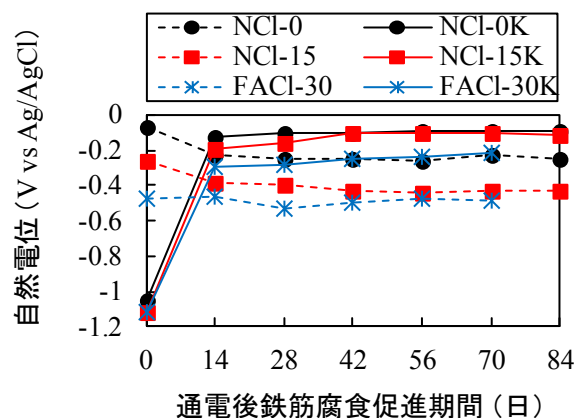


図-6 通電後における自然電位の経時変化