# 中性化による劣化程度の違いが再アルカリ化工法による補修効果に与える影響

徳島大学大学院　学生会員　○髙橋博司　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て $Cl^-$量が 3.0 kg/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配合を NCl とした。また，NCl にフライアッシュ（FA）をセメント代替で 30 %混和した配合を FACl 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 ℃恒温室中で 14 日間封緘養生を行った後に，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。

**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 |
| NCl | 60 | 48 | 300 | 180 | 828 | 902 | － | 4.9 | 0.5 | 0.012 |
| FACl | | | 210 | | 814 | 887 | 90 | | 0.3 | 0.015 |

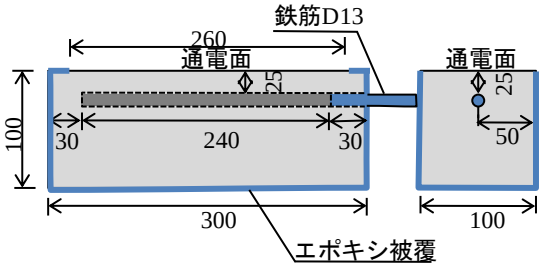


**図-1　RC 供試体の概要**

養生終了後の各供試体について，JIS A 1153 に準拠し，20 ℃，60 %R.H.，$CO_2$ 濃度 5 %で促進中性化を行った。この時，中性化深さの目標値は 30 mm，または鉄筋腐食開始時点での中性化深さとした。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 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，通電を実施するまでは 20 ℃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 1.5N $K_2CO_3$ 溶液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 ℃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 ℃恒温室で保管した。

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 値分布を通電面から深さ 80 mm までの範囲で 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て測定した。$Cl^-$は JIS A 1154 に準拠し測定した。pH 値は微粉砕した試料 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，上澄み液の値を pH 電極で測定した。

通電後の供試体は，乾燥（20 ℃，60 %R.H.）3 日間，湿潤（40 ℃，95 %R.H.）4 日間を繰返す鉄筋腐食促進環境に保管ながら，鉄筋の自然電位を 2 週に 1 度測定した。測定は，湿潤終了後湿潤状態を維持したまま 40 ℃環境から 20 ℃環境へ移行し，その翌日に行った。照合電極は，飽和銀塩化銀電極 Ag/AgCl を使用した。

キーワード：再アルカリ化工法，中性化，イオン濃度分布，自然電位
連絡先：〒770-8506　徳島市南常三島町 2-1　徳島大学大学院　社会産業理工学研究部　TEL　088-656-2153

© Japan Society of Civil Engineers

## 3.　実験結果および考察

### 3．1　通電前後におけるコンクリート中イオン濃度分布

供試体コンクリート中の $K^+$濃度分布を**図-2** に示す。凡例は配合名-中性化深さ（mm）の順とし，末尾に K を付けたものは通電供試体を示す。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。また，NCl-15K や FACl-30K では，促進中性化を実施していない NCl-0K よりも高い $K^+$の濃度となっている。これらの供試体は通電前に促進中性化を実施したため，コンクリート細孔容積が変化したことや，電気二重層の厚さが変化することで電気浸透の速度が大きくなった可能性が考えられる。

供試体コンクリート中の pH 値分布を**図-3** に示す。促進中性化後に通電を実施した NCl-15K の中性化部分は，NCl-0K と比較して通電後の pH 値が低い。これは，通電後のコンクリートの pH は液相への電解液の浸透によって回復するが，NCl-15K の場合は，炭酸化反応によって中性に近い値を示す固相の影響が強くなるためと考えられる。また，FACl-30K は他の通電供試体よりも低い pH を示している。これは，FA をセメント代替で 30 %混和したため $Ca(OH)_2$ 含有量が小さく，さらに FA のポゾラン反応時に $Ca(OH)_2$ が消費された低 pH 状態のコンクリートに，通電を実施したことが原因と考えられる。

通電前後における供試体コンクリート中の温水抽出 $Cl^-$/全 $Cl^-$分布を**図-4** に示す。通電前の NCl-15，FACl-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 $Cl^-$が炭酸化反応により解離したためと考えられる。また，通電により，細孔溶液中の自由 $Cl^-$の目安となる温水抽出 $Cl^-$は電気泳動によって陽極側へ移動するが，通電前後においてかぶり 25 mm までは温水抽出 $Cl^-$と全 $Cl^-$の比率に変化は小さく，通電後に残存した固定 $Cl^-$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　通電後におけるコンクリート中鉄筋防食効果

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-5** に示す。通電後はカソード分極された影響で大きく卑変した自然電位を示しているものの，鉄筋腐食促進開始後 2 週間で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** および**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 が高い供試体ほど，通電後の自然電位も高い傾向を示した。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推定される。

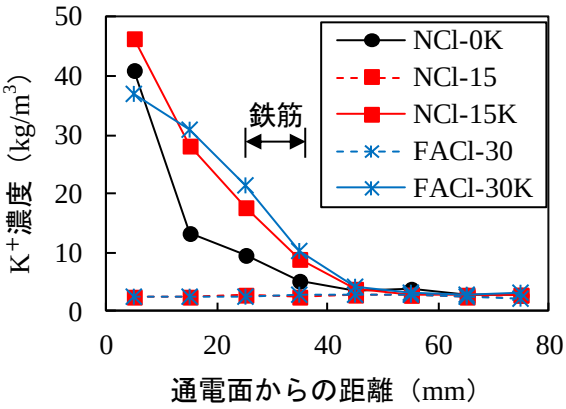


図-2　コンクリート中の $K^+$濃度分布

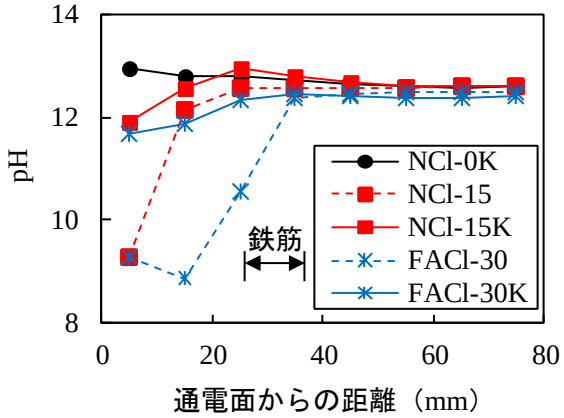


図-3　コンクリート中の pH 値分布

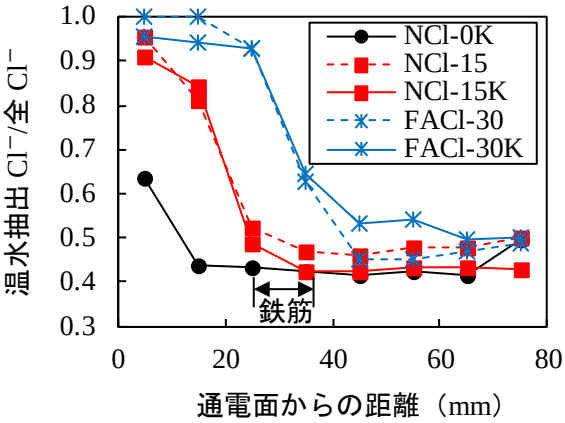


図-4　温水抽出 $Cl^-$/全 $Cl^-$分布

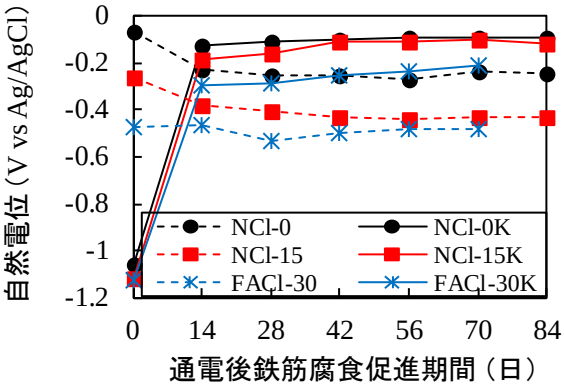


図-5　通電後における自然電位の経時変化

© Japan Society of Civil Engineers