

論文 電解液種類が再アルカリ化工法の補修効果に与える影響

高橋 博司^{*1}・上田 隆雄^{*2}・七澤 章^{*3}・中山 一秀^{*4}

要旨：通電時に用いる電解液種類や、劣化状態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については十分に解明されていない。そこで本研究では、塩分を初期含有する場合も含めて、中性化深さの異なる供試体を用意し、電解液として炭酸カリウム溶液と炭酸リチウム溶液を使用し、再アルカリ化工法による補修効果を検討した。この結果、比較的 pH の低い炭酸リチウム溶液を用いた場合には、炭酸カリウム溶液を用いた場合よりも細孔溶液中の OH⁻濃度は低下したが、通電終了後の鉄筋自然電位は、通電前の中性化程度および電解液種類に関わらず、無通電供試体よりも貴な電位まで回復した。

キーワード：再アルカリ化工法、電解液種類、コンクリート中イオン濃度分布、電気化学的鉄筋腐食指標

1. はじめに

中性化により劣化した鉄筋コンクリート（以下 RC とする）構造物の補修工法である電気化学的再アルカリ化工法は、10 日から 2 週間程度の通電処理によって中性化したコンクリートの pH を確実に回復させることができることから、建築構造物を中心に施工実績は増加している¹⁾。再アルカリ化工法適用後の補修効果持続性に関して、長期的な追跡調査事例の数は少ないものの、通電処理終了後 17 年経過した時点においても、コンクリートの pH 値が 12.2 程度で安定した値を示し、コンクリート中の鉄筋防食状態も維持されているとの報告もある²⁾。

一方で、通電前のコンクリートの中性化深さや内在塩分の影響で劣化状態が異なる場合には、通電後のコンクリート中における各種イオン濃度分布が変化し、補修効果やその持続性も影響を受けるものと考えられる。また、通電に用いる電解液として、従来から炭酸カリウム（以下 K₂CO₃ とする）などの、溶解度の高いアルカリ金属炭酸塩溶液が使用されてきたが、電解液の特性の変化が再アルカリ化工法による補修効果に与える影響については、明らかになっていない。

そこで本研究では、通電前の劣化状態の異なる RC 供試体を準備し、再アルカリ化工法適用後の補修効果について実験的な検討を行うこととした。通電時の電解液として一般に用いられてきた K₂CO₃ 溶液に加えて、通電に伴うコンクリートの ASR 進行の抑制が期待できる炭酸リチウム（以下 Li₂CO₃ とする）溶液を新たに検討することとした。これらの電解液を用いて、RC 供試体に再アルカリ化工法を適用した後に、コンクリート中の pH 値および各種イオン濃度分布を測定するとともに、鉄筋防食状態を電気化学的腐食指標により評価した。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製

本研究で用いたコンクリートの配合を表-1 に示す。表-1 には、促進中性化開始日の材齢 70 日で測定したコンクリートの圧縮強度を併せて示す。中性化を促進させるために、コンクリートの水セメント比は 60% とし、除塩不足の海砂使用を想定して、Cl⁻量が 3.0 kg/m³ となるように細骨材代替で NaCl を混入した。また、細孔溶液の抽出を行ったモルタルの配合は、コンクリート配合から粗骨材と混和剤を除いたものとした。

本研究で作製した供試体の概要を図-1 に示す。RC 供試体のコンクリート部分は 100×100×300 mm とし、かぶり 25 mm となるように鉄筋 D13 を 1 本配置した。コンクリートの打設翌日に脱型し、20℃の恒温室中で 14 日間の封かん養生を行った。その後 20℃、60% R.H. 環境で 4 週間乾燥させ、通電対象となる暴露面 1 面（通電部分は 100×260 mm）を除いて、他の 5 面についてはエポキシ樹脂を塗布することで絶縁処理を行った。また、細孔溶液抽出用に、円形断面の中心に φ2 mm ステンレス線を配置した φ50×100 mm 円柱モルタル供試体（図-1 参照）を作製し、RC 供試体と同条件で養生、乾燥を行った。円柱モルタルは側面全面を通電面とし、上面および底面をエポキシ樹脂で被覆した。

養生終了後さらに 4 週間乾燥させた RC 供試体およびモルタル供試体を用いて、JIS A 1153 に準拠した促進中性化（20℃、60 %R.H.、CO₂ 濃度 5%）を実施した。この時の中性化深さの目標値は、15 mm または 30 mm とした。中性化深さ 15 mm は、RC 供試体中の鉄筋腐食開始時点を想定しており、促進中性化を実施しながら測定した鉄筋自然電位が低下を開始した際の中性化深さの実測値から設定した。中性化深さ 30 mm は、かぶり部分のコ

*1 徳島大学大学院 先端技術科学教育部知的力学システム工学専攻（学生会員）

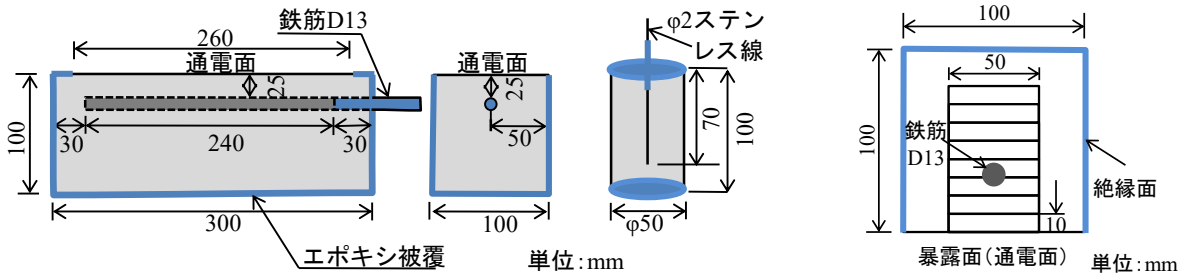
*2 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部社会基盤デザイン系 教授 工博（正会員）

*3 デンカ（株） 青海工場 セメント・特混研究部 工博（正会員）

*4 東京工業大学 環境・社会理工学院土木・環境工学系 助教 工博（正会員）

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					C×%		スランブ (cm)	空気量 (%)	70日 圧縮強度 (N/mm ²)
		C	W	S	G	NaCl	AE 減水剤	AE 剤			
60	48	300	180	828	902	4.9	0.5	0.012	15.5	6.6	33.1



a) RC 供試体 b) 円柱モルタル供試体 図-2 化学分析用供試体の切断方法

図-1 供試体の概要

ンクリートが完全に中性化した状態となる。なお、円柱モルタル供試体は RC 供試体と同時期に中性化を終了した。また、RC 供試体およびモルタル供試体は、促進中性化を実施しない供試体も併せて作製し、通電を行うまでの促進中性化期間中は、20℃恒温室中で保管した。

2.2 通電条件

所定の促進中性化終了後に、再アルカリ化処理のために 0.18 mol/L の Li₂CO₃ 溶液または 1.5 mol/L の K₂CO₃ 溶液を電解液として、RC 供試体およびモルタル供試体に対して通電処理を行った。Li₂CO₃ は水への溶解度が小さく、0.18 mol/L は飽和溶液となる。なお、Li₂CO₃ 溶液を電解液とする通電は、30 mm の促進中性化を行った供試体に対してのみ実施した。

通電処理は陽極材にチタンメッシュを用い、陰極を RC 供試体の鉄筋またはモルタル供試体のステンレス線として直流電流を供給した。電流密度は通電面に対して 1.0 A/m²、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、通電期間中は湿空状態 (20℃, 95 %R.H.) で保管した。促進中性化を行わない供試体の通電は、15 mm まで中性化させた供試体と同時期に開始した。

2.3 各種試験

(1) 電解液の pH 測定および中性化深さ測定

14 日間の通電期間中に、定期的に電解液の pH 値を測定した。測定は、電解液を十分に攪拌した後、20 ml 程度を試料として採取し、pH 測定電極を用いて測定した。

通電後の RC 供試体を鉄筋軸方向に割裂した後、コンクリート粉などを除去した割裂面に対して JIS A 1152 に準拠した方法により、1.0 %フェノールフタレイン溶液を噴霧し、コンクリートの中性化さを測定した。この結

果、各供試体の中性化深さは目標値とした 15 mm または 30 mm に対して±2 mm 以内となった。

(2) モルタル細孔溶液中のイオン濃度

通電前後におけるモルタル供試体の細孔溶液を、1400 kN を上限とする圧縮荷重と除荷を繰返す高圧抽出により採取した。通電、無通電供試体ともに、高圧抽出前に上面および下面のエポキシ樹脂は研磨機で削り取り、ステンレス線は引き抜いた。各供試体から 5 ml 以上抽出された細孔溶液を用いて 100 倍希釈液を作製し、Cl⁻濃度を 0.01 mol/L 硝酸銀による電位差滴定法、OH⁻濃度を 0.01 mol/L 塩酸による直接滴定法により求めた。なお、中性化を実施した無通電供試体は OH⁻濃度が非常に低く、直接滴定法では測定が困難であったため、細孔溶液原液の pH 値を、pH 測定電極を用いて測定した。

(3) RC 供試体中の各種イオン濃度分布

通電を実施した RC 供試体のコンクリート中における各種イオン(Cl⁻, Li⁺, K⁺)濃度分布および pH 値分布を測定した。図-2 に示す通り、暴露面 (通電面) から深さ 80 mm までの範囲で切り出した厚さ 10 mm のコンクリートプレート 8 枚を、それぞれ微粉碎したものを分析試料とした。Cl⁻濃度として、JIS A 1154 に準拠した電位差滴定法により、全 Cl⁻濃度、温水抽出 Cl⁻濃度を測定した。pH 値は、50 ml ビーカーに試料 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、上澄み液を用いて測定した。Li⁺および K⁺濃度は、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定量した。

(4) 電気化学的指標

通電期間終了後の RC 供試体は、乾燥 (20℃, 60% R.H.) 3 日間、湿潤 (40℃, 95%R.H.) 4 日間を 1 サイ

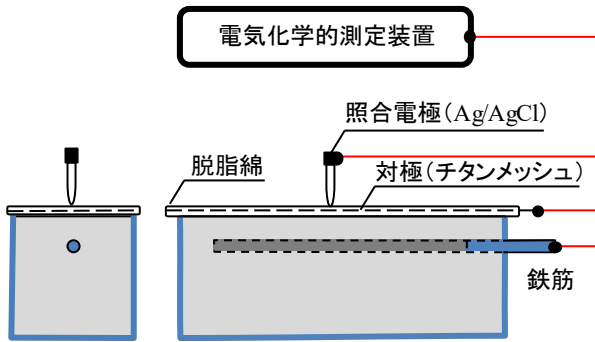


図-3 電気化学的鉄筋腐食指標の測定方法

クルとする乾湿繰返しによる鉄筋腐食促進環境に保管しながら、定期的に自然電位、分極抵抗、コンクリート抵抗を測定した。測定方法は、図-3 に示す通り、照合電極として飽和銀塩化銀電極 (Ag/AgCl)、対極にチタンメッシュを使用し、供試体暴露面に純水で十分に湿らせた脱脂綿を介してこれらの電極を付着させた。分極抵抗の測定は矩形波電流分極法で印加電流 100 μ A、周波数 800 Hz と 0.1 Hz のインピーダンス値として求めた。コンクリート抵抗は高周波数側 (800 Hz) のインピーダンス値として求めた。なお、これらの測定は、乾湿繰返しの湿潤期間終了後、供試体の湿潤状態を維持したまま、40 $^{\circ}$ C 環境から 20 $^{\circ}$ C 環境へ移行した翌日に実施した。

3. 電解液 pH 値の経時変化とモルタル細孔溶液のイオン組成

3.1 電解液 pH 値の経時変化

通電期間中の電解液 pH 値の経時変化を図-4 に示す。これ以降の図において、凡例は中性化深さ (mm)、通電条件の順とし、“N”は無通電、“K”は K_2CO_3 溶液通電、“Li”は Li_2CO_3 溶液通電供試体を示す。図-4 より、 Li_2CO_3 溶液を電解液とした 30Li は、 K_2CO_3 溶液を電解液とした他の場合と比較して、通電開始時点から低い pH 値を示している。これは、難溶性の Li_2CO_3 溶液は、電解質濃度が K_2CO_3 溶液の 1/8 程度になっていることが主原因であると考えられる。また、電解液種類によらず、通電期間の増加とともに電解液の pH 値が低下している。これは、不活性陽極材であるチタンメッシュにおけるアノード反応により、 H^+ が生成されたためと考えられる。ただし、 Li_2CO_3 溶液を用いた 30Li の場合でも、通電終了時点の pH 値は 10.2 程度であり、 Cl_2 ガス発生の目安である pH 値 10 を上回っていることから、今回用いたいずれの溶液も、安定した通電が可能な電解液であると判断できる。

通電前の中性化程度が異なる供試体に対して、 K_2CO_3 溶液を用いて通電を行った 0K、15K、30K については、通電中の電解液 pH 値の変化に大きな違いは無いが、中性化深さが最も大きい 30K の pH 値の変動が最も大きく

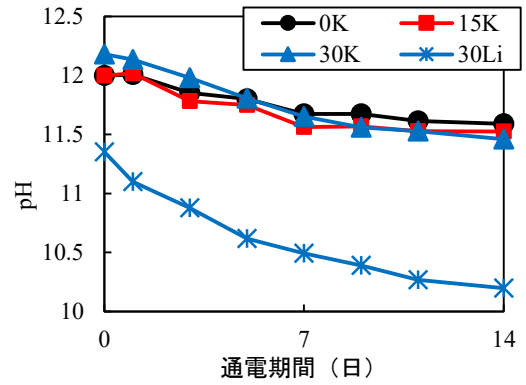


図-4 電解液の pH 値の経時変化

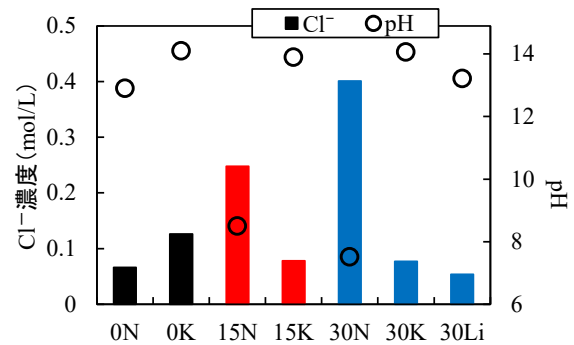


図-5 モルタル細孔溶液中の pH 値と Cl^- 濃度

なっている。再アルカリ化工法は、中性化したコンクリート部分に電解液が電気浸透することで pH 値が回復することから、コンクリートの中性化程度が電解液や電解質の移動に影響を与えた可能性がある。

3.2 モルタル細孔溶液の pH 値と Cl^- 濃度

モルタル供試体から高圧抽出した細孔溶液の pH 値と Cl^- 濃度を図-5 に示す。促進中性化を行った 15N や 30N では、細孔溶液の pH 値が 8 付近まで低下しているが、その後通電を実施した 15K や 30K、30Li は細孔溶液の pH 値が 14 程度まで上昇している。また、促進中性化を行っていない 0N でも、通電によって pH 値が 12.9 から 14.1 に上昇している。これらの通電による pH 値の上昇は、電解液の電気浸透と、陰極付近でのカソード反応による OH^- の発生によるものと考えられる。

電解液種類に関して、 Li_2CO_3 溶液を用いた 30Li は K_2CO_3 溶液を用いた 30K よりも pH 値が若干低い。これは、図-4 に示したように、電解液として用いた Li_2CO_3 溶液の pH 値が、 K_2CO_3 溶液の pH 値より低いためと考えられる。

図-5 より、中性化なしの 0N と比較して、15N や 30N は、中性化の進行に伴い、細孔溶液中の Cl^- 濃度が増加している。これは、中性化によりモルタル中の固定 Cl^- が遊離し、細孔溶液中の Cl^- 濃度が高くなったためと考えられる³⁾。これらの中性化が進行している供試体に対

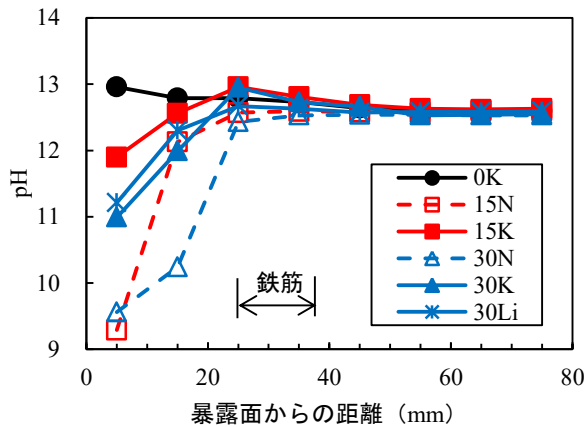


図-6 RC 供試体中の pH 値分布

して通電を実施した 15K や 30K および 30Li では、通電後の細孔溶液中の Cl^- 濃度が大きく減少している。これは、通電に伴う電気泳動により、モルタル細孔溶液中の Cl^- が供試体外部に抽出されたためと考えられる。一方、中性化なしの場合では、通電を行った 0K の Cl^- 濃度は無通電の 0N の Cl^- 濃度より高くなっている。これより、細孔溶液中の Cl^- の一部は電気化学的に除去されるものの、通電によって固定 Cl^- の一部が遊離し、細孔溶液中の Cl^- と固定 Cl^- との間に新たな平衡状態が形成されたものと推察される。

4. 通電に伴うコンクリート中のイオン組成の変化

4.1 RC 供試体中の pH 値分布

本研究で通電を行った RC 供試体は、通電終了後にコンクリート割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、再アルカリ化状況を確認した。この結果、通電前の中性化程度や電解液種類によらず、すべての供試体で割裂面全面が赤色に変色した。これより、再アルカリ化工法の適用によって、RC 供試体全体の pH 値が 10 以上まで上昇していることがわかるが、以下に供試体内部の pH 値分布を定量的に検討する。

RC 供試体のコンクリート中 pH 値分布を図-6 に示す。促進中性化を実施した供試体 (15N, 30N) では、中性化したコンクリート部分の pH 値が 9 程度まで低下しているのに対し、通電後の供試体では、中性化部分の pH 値が 11 以上の値まで大きく回復している。ただし、促進中性化後に通電を実施した 15K, 30K, 30Li の中性化部での pH 値は、中性化なしで通電を実施した 0K の同じ部分の pH 値より低い。これは、通電後のコンクリートの pH 値は液相への電解液の浸透によって上昇するが、セメント水和物の炭酸化反応によって生成した固相の影響は通電後も残存するためと考えられる。

電解液種類に関して、30Li の pH 値は 30K の値と同程度まで上昇している。ただし、図-5 に示したように、

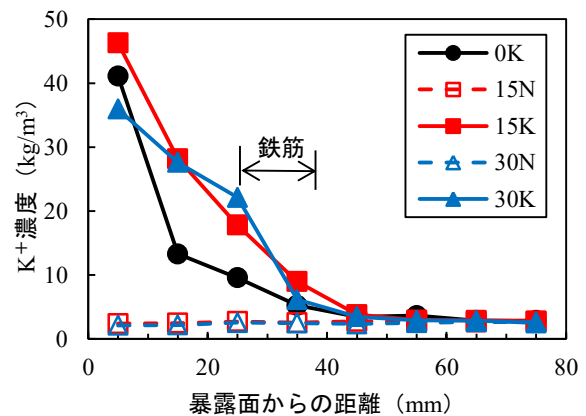


図-7 RC 供試体中の K^+ 濃度分布

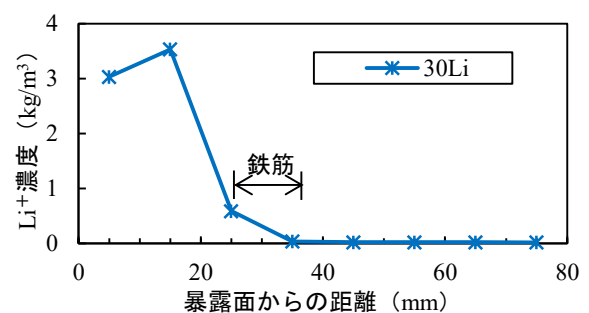


図-8 RC 供試体中の Li^+ 濃度分布

モルタル細孔溶液の pH 値は電解液の pH 値の影響を受けて 30Li の方が 30K よりも若干低くなっている。このような pH 値の違いが、通電後の pH 保持性や鉄筋防食効果に影響を与える可能性もあることから、長期的な検討が必要である。

4.2 RC 供試体中のアルカリイオン濃度分布

RC 供試体のコンクリート中における K^+ および Li^+ 濃度分布をそれぞれ、図-7 および図-8 に示す。図-7 より、 K_2CO_3 溶液を電解液とした通電供試体では、コンクリート表面から電解液の浸透に伴って多量の K^+ イオンが浸透している。また、通電前に中性化を実施した 15K や 30K では、中性化なしの 0K よりも高濃度で K^+ イオンが浸透している。通電前に促進中性化を実施した供試体では、セメント水和物の炭酸化反応に伴ってコンクリート細孔容積や、細孔壁の電気二重層が変化することで電気浸透流が大きくなった可能性が考えられる。

図-8 によると、 Li_2CO_3 溶液を電解液として通電を実施することで、かぶり部分全体に Li^+ イオンが浸透していることがわかる。ただし、前述したように、 Li_2CO_3 溶液は比較的濃度が低いため、通電に伴って浸透する Li^+ 濃度も図-7 に示した K_2CO_3 溶液から供給される K^+ 濃度よりかなり小さくなっている。このようなアルカリ金属イオンの濃度差が通電後の pH 保持性に与える影響については今後の検討課題とする。

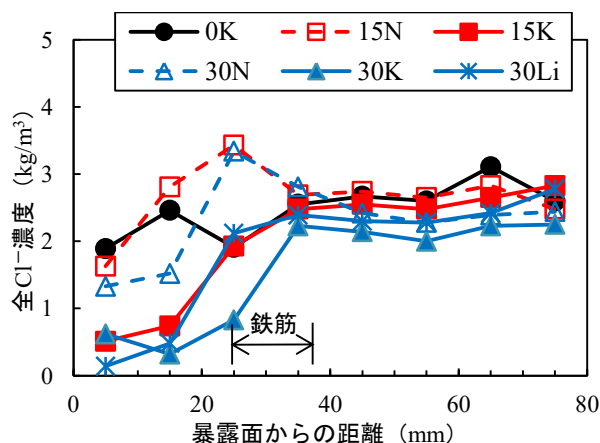


図-9 RC 供試体中の全 Cl^- 濃度分布

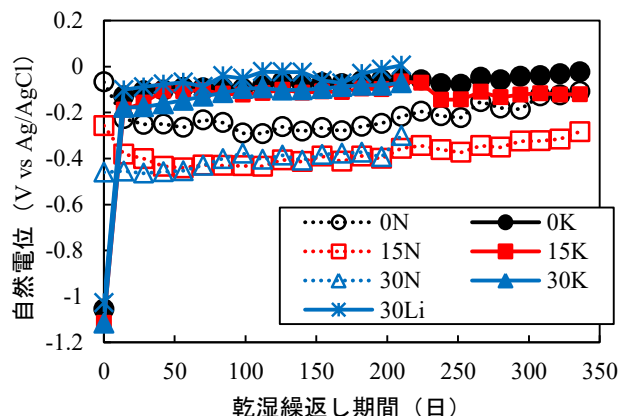


図-11 RC 供試体中鉄筋の自然電位の経時変化

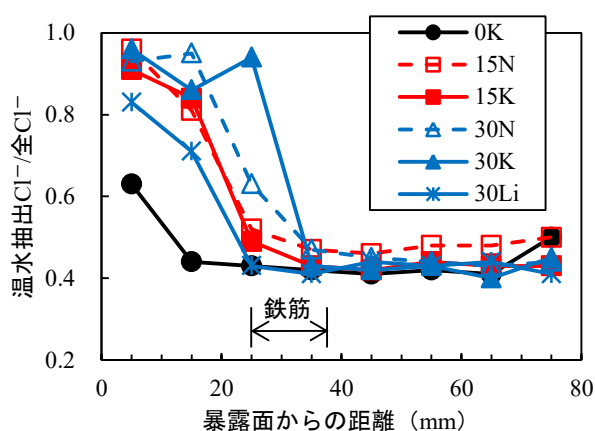


図-10 RC 供試体中の温水抽出 Cl^- /全 Cl^- 分布

4.3 RC 供試体中の Cl^- 濃度分布

RC 供試体のコンクリート中における全 Cl^- 濃度分布および (温水抽出 Cl^- 濃度/全 Cl^- 濃度) 割合分布をそれぞれ図-9 および図-10 に示す。図-9 によると、通電をしていない 15N および 30N は、中性化したコンクリート部分において (温水抽出 Cl^- 濃度/全 Cl^- 濃度) の値が大きくなっている。これは、3.2 でも述べたように、フリーデル氏塩として固定された Cl^- が、コンクリートの炭酸化反応により遊離したためと考えられる。このような細孔溶液中に遊離した Cl^- が、通電によって陽極側へ電気泳動することで、図-9 に示す通り、通電後の 15K や 30K は、中性化部分で脱塩効果が顕著に表れており、特に 30K は中性化深さが鉄筋位置まで進行しているため、通電後に供試体中に残存する全 Cl^- 濃度が他の通電供試体よりも小さくなっている。

一方で、図-10 より、通電供試体の中性化部における (温水抽出 Cl^- 濃度/全 Cl^- 濃度) の値は、無通電の場合 (15N, 30N) と同様の高い値を示していることから、通電を実施して中性化部分の pH が回復したとしても、固相部分の Cl^- 固定化能力は回復しないものと考えられる。

図-9 および図-10 によると、 Li_2CO_3 溶液を用いた

30Li は K_2CO_3 溶液を用いた 30K の場合より、通電後の残存 Cl^- 濃度が大きく、(温水抽出 Cl^- 濃度/全 Cl^- 濃度) の値は小さくなっている。前述したように、 K_2CO_3 溶液を用いて通電した場合、細孔溶液中の pH 値は、 Li_2CO_3 溶液を用いた場合より高くなっており、そのことが、通電に伴う固相からの Cl^- の遊離とコンクリートからの抽出を促進させた可能性もある。

5. 電気化学的指標によるコンクリート中鉄筋腐食評価

5.1 RC 供試体中鉄筋の自然電位の経時変化

乾湿繰返し期間における RC 供試体中鉄筋の自然電位の経時変化を図-11 に示す。これ以降の図において、通電終了直後を乾湿繰返し期間 0 日とした。無通電供試体の 15N および 30N は、ASTM C876-91 の判定基準における腐食領域 ($E < -0.24 \text{ V vs Ag/AgCl}$) を推移している。これは、内在塩分と中性化の複合劣化が進行し、中性化によってコンクリートの pH 値が低下するとともに、図-9 に示したように、鉄筋位置で Cl^- 濃度の濃縮層が形成されたためと考えられる。

一方、通電供試体は、通電直後において、カソード分極により大きく卑変した自然電位を示しているものの、乾湿繰返し開始後 2 週間で無通電供試体 (15N, 30N) よりも貴な電位まで上昇している。これは、通電によるアルカリ性の回復とコンクリートに内在された Cl^- の除去により、鉄筋腐食環境が緩和され、酸素の供給に伴って鉄筋不動態被膜が再形成されたためと考えられる。通電前の中性化深さや電解液種類の違いに関しては、本研究の範囲内では自然電位の値に大きな影響は与えていない。

5.2 RC 供試体中鉄筋の分極抵抗の経時変化

乾湿繰返し期間における、RC 供試体中鉄筋の分極抵抗の経時変化を図-12 に示す。これより、無通電供試体 (0N, 15N, 30N) の分極抵抗は、乾湿繰返し期間の経過とともに経時的に低下しており、特に 15 mm の促進中性化を行った 15N の分極抵抗は大きく低下している。こ

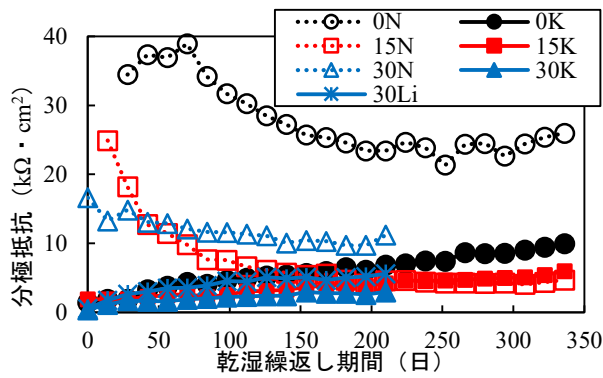


図-12 RC 供試体中鉄筋の分極抵抗の経時変化

れは、図-9 に示したように、鉄筋位置で Cl^- 濃度が高い状態で促進中性化を終了し、乾湿繰返しを実施したため、厳しい鉄筋腐食環境が形成されたものと考えられる。

一方で通電供試体の分極抵抗は、通電終了直後が最も小さく、その後の乾湿繰返しに伴って経時的に増加する傾向が見られる。このような傾向は既往の検討⁴⁾でも見られ、通電により大きくカソード分極された影響により、カソード分極抵抗が顕著に低下したことが原因と考えられる。ただし、15 mm の促進中性化後に K_2CO_3 溶液で通電を行った 15K の分極抵抗値は、乾湿繰返し期間 250 日付近以降は無通電の 15N の値を上回っていることから、電場の影響が消失することで実質的な鉄筋防食効果が分極抵抗値に表れつつあると言える。

Li_2CO_3 溶液を電解液とした 30Li の分極抵抗値は K_2CO_3 溶液で通電を行った 30K よりも大きい値を示している。図-9 および図-10 に示したように、通電後のコンクリート中における残存 Cl^- 量は 30Li の方が大きいものの、かぶり部分の(温水抽出 Cl^- 濃度/全 Cl^- 濃度)の値は 30Li の方が小さくなっていることから、通電による鉄筋防食効果は 30Li の方が大きかったものと推察される。この点については、今後実際の鉄筋腐食状況によって確認する予定である。

5.3 RC 供試体のコンクリート抵抗の経時変化

乾湿繰返し期間における、RC 供試体コンクリート抵抗の経時変化を図-13 に示す。これより、すべての供試体のコンクリート抵抗値は、乾湿繰返しに伴って経時的に増加している。これは、 40°C 湿潤保管期間を中心にセメントの水和反応が進行し、細孔構造が緻密になったためと考えられる。また、通電供試体は無通電供試体より小さい抵抗値を示している。これは通電に伴って電解液からコンクリート中に多量のアルカリ金属イオンが供給されるとともに、含水率が上昇したことが原因と考えられる。さらに、通電供試体の中でも K^+ の浸透量が大きかった 15K や 30K のコンクリート抵抗が特に小さい。

Li_2CO_3 溶液を電解液とした 30Li のコンクリート抵抗

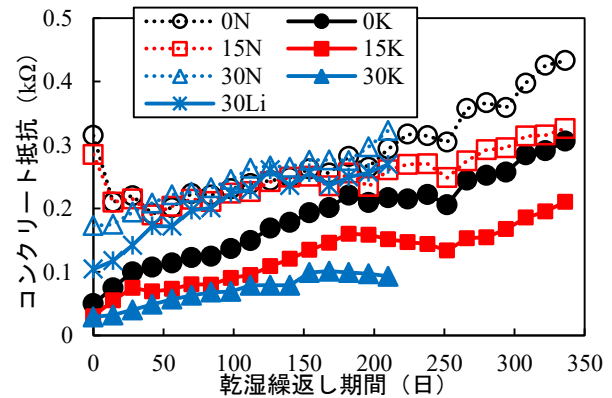


図-13 RC 供試体のコンクリート抵抗の経時変化

値は K_2CO_3 溶液で通電を行った 30K よりも顕著に大きな値を示している。通電に伴ってコンクリート中に浸透した K^+ 濃度の方が Li^+ 濃度よりも大きいことが一因と考えられるが、30Li ではコンクリート中において電気抵抗を上昇させるような化学反応が進行した可能性もあることから、今後さらに詳細な検討を実施する予定である。

6. まとめ

- (1) Li_2CO_3 溶液を電解液として再アルカリ化工法を適用した結果、中性化したコンクリートの pH 値は、 K_2CO_3 溶液を用いた場合と同程度まで上昇した。
- (2) Li_2CO_3 溶液を用いて再アルカリ化工法を適用したモルタル供試体の細孔溶液 pH 値は、 K_2CO_3 溶液を用いた通電した場合より低下した。
- (3) 再アルカリ化工法を適用した供試体の鉄筋自然電位は、通電前の中性化程度および電解液種類に関わらず、無通電供試体よりも貴な電位まで回復した。
- (4) Li_2CO_3 溶液を電解液として用いた通電供試体は、通電終了後の乾湿繰返し期間中において、 K_2CO_3 溶液を用いた供試体よりも大きな分極抵抗やコンクリート抵抗を示した。

参考文献

- 1) 芦田公伸: 電気化学的防食の現状と施工実績—脱塩、再アルカリ化工法—, コンクリート工学, Vol.44, No. 11, pp. 15-21, 2006.11
- 2) 野村倫一, 石橋昌史, 七澤 章: 17 年経過した脱塩・再アルカリ化工法の効果, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No. 1, pp. 1672-1677, 2012.7
- 3) 小林一輔: コンクリートの炭酸化に関する研究, 土木学会論文集, No.433, V-15, pp1-14, 1991.2
- 4) K. Nakayama, T. Ueda, M. Tsukagoshi and A. Nanasawa: Influence of Surface Treatment after Applying Electrochemical Repair Method on Protection Effect against Steel Corrosion in Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 16, pp. 84-96, 2018.2