

脱塩工法における塩化物イオン濃度の変化に関する検討

建設工学課程
指導教官

江藤 健
丸山久一

1. はじめに

コンクリート構造物は極めて耐久性に富む構造形式であり、ごく最近までメンテナンスフリーであると考えられてきた。その結果、コンクリート構造物の維持管理に対する配慮が軽視されがちであった。しかし、近年になってコンクリート構造物の劣化が深刻な問題となってきており、的確に維持・補修を行うためにも、劣化対策技術の確立が早急に求められている。

塩害や中性化による鋼材の腐食に対しては、従来では断面修復工法やライニング工法が適用されていたが、劣化を完全に食い止めることは困難であり、またマクロセル腐食による再劣化の危険性も指摘されていたことから、十分な補修効果を得るに至ってはいなかった。このような背景のもと、従来工法の欠点を補い、十分な補修効果を挙げることを目的として開発されているのが、電気化学的防食工法である。電気化学的防食工法の中で、既に塩害による劣化を受けた構造物に対しては、脱塩工法が適用される。脱塩工法は電気化学的に塩化物イオン (Cl^-) をコンクリート内部から外部へと強制移動させることにより、構造物の機能回復を目的としたものである。RC 構造物に対しては幾つかの施工例が報告されているが、PC 構造物に対しては鉄筋近傍で発生する水素ガスによる水素脆化が懸念され、見送られ続けてきた。しかし最近の

報告¹⁾により、鉄筋近傍に発生する水素を拡散させる目的で、断続的な通電を施すことで PC 構造物に対しても脱塩工法が適用できることがわかった。

そこで本研究では、PC 構造物に対する脱塩工法の適用に関して、断続的通電が脱塩効果へもたらす影響を調べることを目的とした。また、内在塩化物イオン量、通電時の電流密度が脱塩効果に及ぼす影響についても調べた。

2. 実験概要

2.1 供試体

実験に用いた供試体は、図 - 1 に示すように $100 \times 100 \times 176 \text{mm}$ の角柱供試体で、断面中央に普通丸鋼 $\phi 22$ を配置した。供試体の作成にあたって、鋼材の前処理として、鋼材の錆、汚れをサンドペーパーを用いて除去した。また、鋼材中央にネジ穴をあけ、ネジ止めすることによって鋼材にリード線を定着させた。練り上がったフレッシュコンクリートは型枠に 2 層に詰め、1 層ごとに突き棒で 40 回ずつ突き固めた。打設後は 2 週間の水中養生を行った。なお、内在塩化物イオン量が 10kg/m^3 のみ、4 週間の水中養生を行った。養生後、できるだけ実橋に近づける目的で、検査面以外の面をエポキシ系樹脂によりシールした。内在塩化物イオン量は 2.5, 5.0, 10.0kg/m^3 の

3 水準を設定し、打ち込みの際に練り混ぜ
水に NaCl の形で所定量混入した。

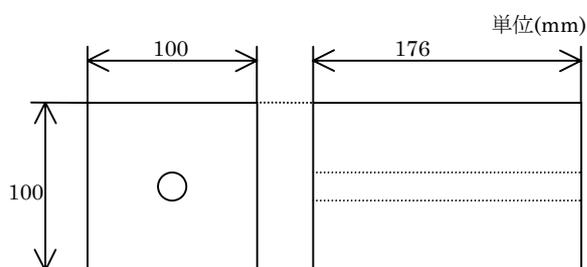


図-1 供試体寸法

2.2 通電条件について

電流密度に関しては、コンクリート表面積に対して $1A/m^2$ と $2A/m^2$ の 2 水準を設定した。本実験では、電流密度(A/m^2)に通電処理期間(hr)を乗じた積算電流密度($A\cdot hr/m^2$)を用いて評価しているため、 $1A$ では 4 週間、 $2A$ では 2 週間の通電を行った。なお、内在塩化物イオン量が $5.0kg/m^3$ に関しては、電流密度 $1A/m^2$ のみ行った。また通電の方法として、期間中一定の電流を流し続ける連続通電と、1 週間のうち 4.4 日通電、2.6 日休止のサイクルで通電を行う断続

通電を採用した。このサイクルは弁天大橋での補修工事にも用いられていた。なお、実験では電流密度 $1A/m^2$ で 4 週間断続通電した時の積算電流密度 $416A\cdot hr/m^2$ を基準とした。

2.3 実験方法

脱塩実験の概略を図-2 および図-3 に示す。水槽の寸法は $120 \times 140 \times 240(mm)$ である。電解質溶液にはホウ酸リチウム溶液を用い、供試体上方より $1cm$ を残して浸水させた。また陽極材にはチタンメッシュを用い、供試体に直接触れないようにす

るために、モルタル片により間隙を設けた。通電に際して、電流密度が $1A/m^2$ の供試体については直列につなぐことにより、1 つの電源装置に対して 2 体の供試体に通電を行った。

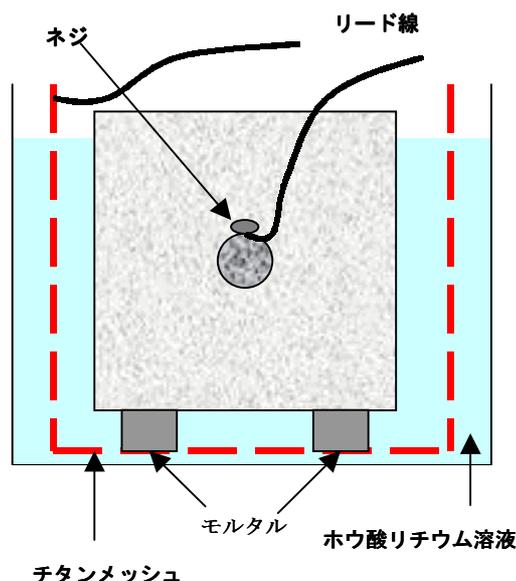


図-2 脱塩実験概略 (断面)

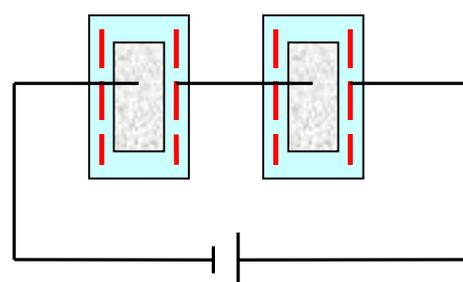


図-3 脱塩実験概略 (回路)

2.4 塩化物イオンの測定方法

脱塩後の塩化物イオンについては、全塩化物イオン量を測定項目とし、測定方法は全塩化物イオン量日本コンクリート工学協会基準(案)JCI-SC4「硬化コンクリート中

に含まれる塩分の分析方法」²⁾に準拠して実施

した。また分析位置は図-4に示すNo1およびNo2地点の2箇所とした。

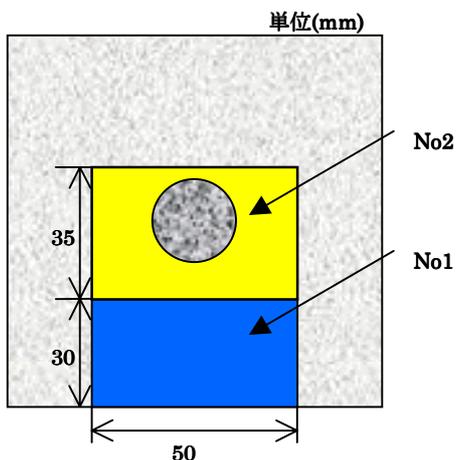


図-4 分析位置

2.5 脱塩効果の評価方法

本実験では、脱塩効果の評価方法として、コンクリート内部から外部へと移動したClの減少程度を表す脱塩率を用いた。脱塩率は、通電前の塩化物イオン量と通電後の塩化物イオン量の差(脱塩量)を、通電前の塩化物イオン量で除し、百分率表示したものと定義する。

$$\text{脱塩率} = \frac{\text{脱塩量}(\text{kg}/\text{m}^3)}{\text{通電前の塩化物イオン量}(\text{kg}/\text{m}^3)} \times 100(\%)$$

る。これは、No2地点が陰極である鉄筋近傍であり、塩化物イオンが移動しやすい場所であること、またNo1地点では、No1地点から流出する塩化物イオンとNo2地点から流入してくる塩化物イオンがあるため、No1地点における塩化物イオン量は減少しづらいことの2つが考えられる。図-7に各供試体の脱塩率を示す。グラフより、内在塩化物イオン量が $5.0\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $10.0\text{kg}/\text{m}^3$ の供試体に対しては、若干 $10.0\text{kg}/\text{m}^3$ の供試体の方が脱塩率は大きいものの、ほぼ同程度であると言える。これに対して、内在塩化物イオン量が $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ の供試体は、 $5.0\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $10.0\text{kg}/\text{m}^3$ の供試体に比べて大幅に低下している。これにより、内在塩化物イオン量が少ないと、脱塩効果が下がることが明らかとなった。

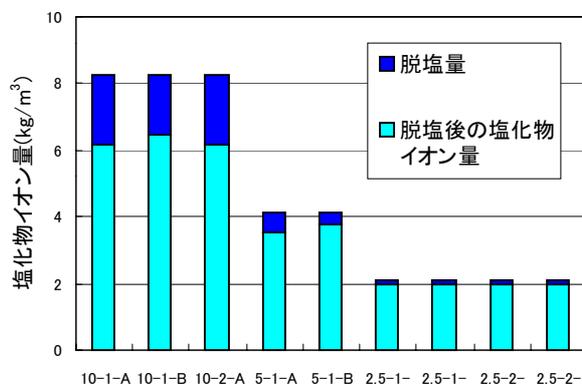


図-5 内在塩化物イオン量が脱塩量に及ぼす影響(No1地点)

3. 実験結果

3.1 内在塩化物イオン量による影響

No1地点における各供試体の脱塩量を図-5に、No2地点における各供試体の脱塩量を図-6に示す。図-5と図-6を比較すると、No1地点に対してNo2地点の方がより脱塩量が多くなっていることがわか

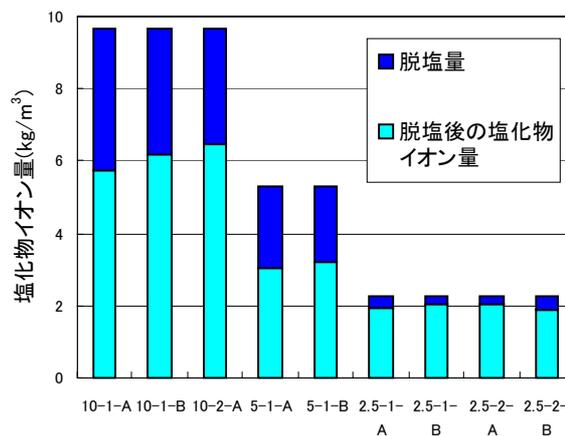


図-6 内在塩化物イオン量が脱塩量に及ぼす影響(No2地点)

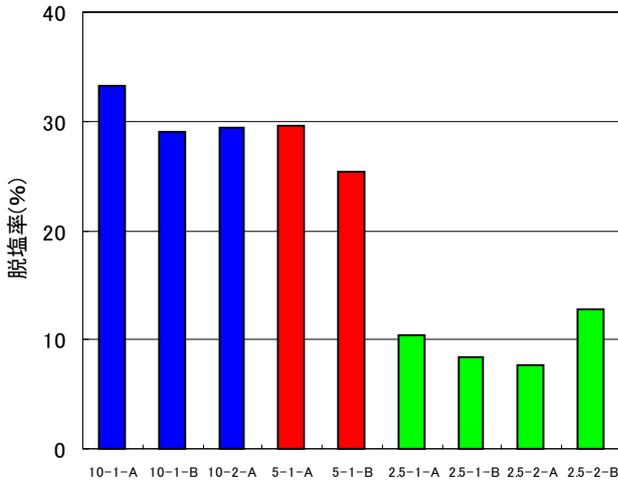


図-7 内在塩化物イオン量が脱塩率に及ぼす影響

3.2 電流密度による影響

電流密度による脱塩率への影響を図-8に示す。グラフより、各供試体毎にばらつきが生じているが、いずれも実験誤差による範囲内であると考えられる。久田の研究によると、電流密度 $1A/m^2$ 、 $2A/m^2$ で積算電流密度を合わせて行った実験では、脱塩率はほぼ同程度となっていた。このことも考慮すると、本実験の結果のばらつきは実験誤差の範囲内であり、積算電流密度で評価した場合、電流密度が脱塩率に及ぼす影響はないと考えられる。

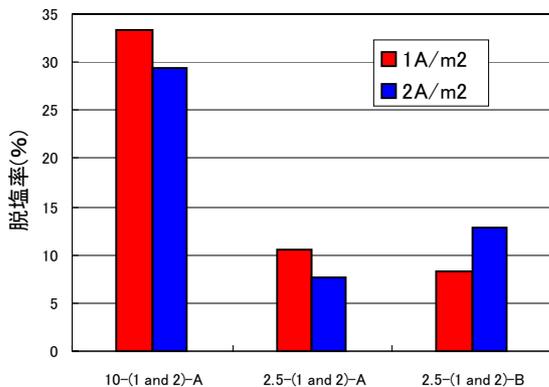


図-8 電流密度が脱塩率に及ぼす影響

3.3 連続通電・断続通電による影響

連続通電・断続通電による脱塩率を図-

9に示す。グラフより、内在塩化物イオン量 $2.5kg/m^3$ 、 $5.0kg/m^3$ 、 $10.0kg/m^3$ のいずれの結果においても連続通電が断続通電を脱塩率では若干上回っている。しかし、既往の研究で久田が行った実験³⁾によると、断続通電の方が連続通電よりも脱塩率が上回った。これは、本研究とは休止期間の設定が異なっていたことから、通電における休止期間の設定が脱塩率に影響するものと考えられる。

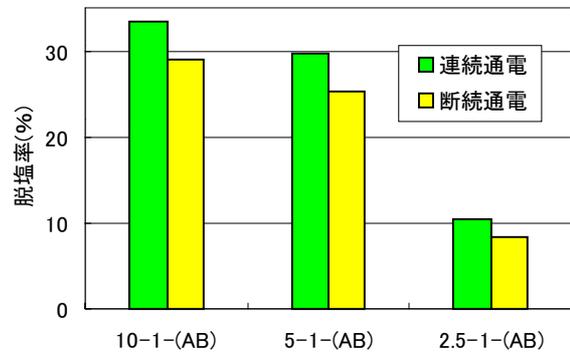


図-9 連続・断続通電が脱塩率に及ぼす影響

4. まとめ

本研究により、内在塩化物イオン量がある一定値以下であると、脱塩効果が下がること、電流密度による脱塩率への影響はないこと、断続通電では、休止期間の設定により脱塩率への影響が異なることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 芦田ら：PC 鋼材の水素吸蔵特性に着目したデサリネーション方法の検討，土木学会論文集，No641/V-46，pp.231-240，2000
- 2) コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに基準(案)，1991.4
- 3) 久田 真：通電によるコンクリート中のイオンの移動に関する研究，東京工業大学学位論文，1998