

京都大学工学部 学生員○上田 隆雄 正員 服部 篤史

正員 井上 晋

正員 宮川 豊章 正員 藤井 学

電気化学工業 芦田 公伸

1. はじめに 中性化や塩化物により腐食劣化した構造物の補修工法として、最近注目を集めている手法が電気化学的手法を用いた補修方法である。電気化学的手法では、鉄筋を陰極としコンクリート表面に設置した陽極との間に電流が流される。デサリネーションはコンクリート中の塩化物の除去を目的とする電気化学的手法であり、電気防食の100倍近い電流を、ある一定期間だけ流すという特色がある。本研究ではデサリネーションの問題点の一つである鉄筋とコンクリートとの付着挙動へのデサリネーションの影響に注目した。塩分を含んだコンクリートにデサリネーションを施した後、片引試験を行い、通電による影響を検討することとした。なお、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ の分布を調べることで、デサリネーションの補修効果も併せて検討することとした。

2. 実験概要 コンクリート中の Cl^- 量としては、比較的厳しい塩害が生じた場合に見られる、10 (kg/m^3)を要因として選んだ。電流密度としては、デサリネーションで従来しばしば用いられている、コンクリート表面に対して1.0 (A/m^2)とし、通電期間として、通常用いられている、

4週と、さらに長期とした場合として 図1 供試体の通電面

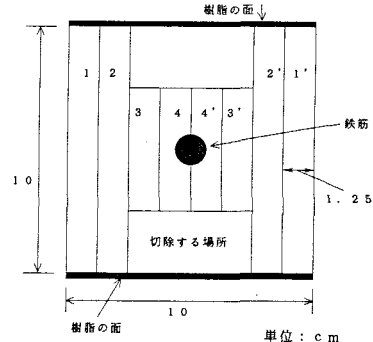
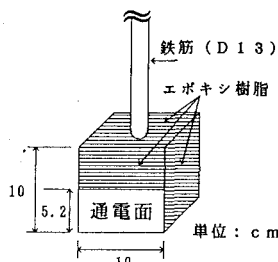


図2 供試体の切断方法

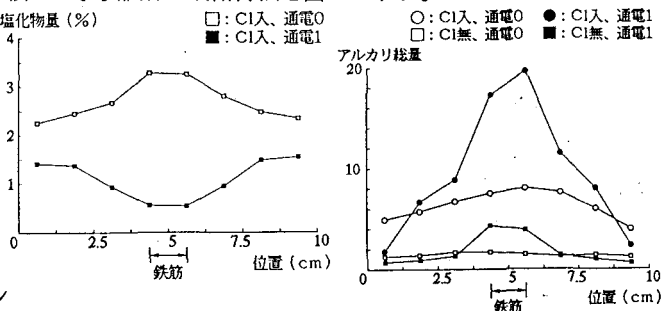
の8週の2水準を選んだ。通電は2面通電とし、電流を流さない面にはエポキシ樹脂を塗り、絶縁した(図1参照)。片引試験では鉄筋の自由端変位と引き抜き荷重を測定した。また、化学分析用に作成した供試体を用いて Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ のイオン分布を調べた。供試体の切断方法を図2に示す。

3. 試験結果および考察

通電4週間

の供試体中の、セメント量に対する塩化物の分布状況を図3-①に示す。通電無しの供試体においては塩化物は鉄筋近傍により多く存在しているのに対して、通電後の供試体は鉄筋に近づくほど塩化物量は減少しデサリネーションの効果が現れている。デサリネーションにおいて Cl^- イオンはコンクリート表面の陽極に向かって移動し、さらにコンクリート表面から抜け出していく。

このため鉄筋周辺の Cl^- イオンは減少するが、コンクリート表面の Cl^- イオンはコンクリートから抜け出ていく減少分とコンクリート内部から移動して来る増加分とがあるため、このような分布になると考えられる。今回の結果より推定される脱塩率は約57%であった。コンクリート中にはフリーデル氏塩として固定化された塩化物がセメント量に対して約0.4%存在する事が知られている。供試体中のセメント量に対する塩化物量は、0.53%程度が最低であり、遊離した塩化物をコンクリートから全ては抽出しきれていないようである。なお、自然電位分布からはデサリネーションによる補修・防食効果が確認された。



①塩化物の分布

②アルカリ総量の分布

図3 化学分析結果

アルカリ骨材反応の検討基準として以下の式によりアルカリ総量を計算した結果を図3-②に示す。

$$R_2O = Na_2O + 0.658K_2O \quad (kg/m^3)$$

アルカリ骨材反応の抑制対策の一つとして、アルカリ総量を3.0(kg/m³)以下とする規定がある。C1⁻混入供試体は、通电により、コンクリート表面のアルカリ総量が規定量以下になっているのに対し、鉄筋近傍のアルカリ総量は規定量の約6倍になっている。C1⁻無混入供試体は、通电しなかった供試体は全領域で規定量以下だったのに対し、通电した供試体は鉄筋近傍で規定量を越えている。以上の結果により、デサリネーションが鉄筋近傍でアルカリ骨材反応を発生または促進させる可能性があると考えられる。

片引試験における付着応力度-自由端変位曲線の代表例を図4に示す。通电無しの供試体は付着応力度が最大となった時点でコンクリートが破壊し、その後は測定が不可能となった。これに対して、通电した供試体は付着応力度がピークに達してもコンクリートが破壊すること無く、ピークを越えてからは緩やかに付着応力度を下げながら鉄筋がコンクリートから抜け出していくという破壊形態を示した。通电した供試体では、デサリネーションによって鉄筋付近に集積したアルカリ金属イオンの影響で鉄筋周りのコンクリートのセメントペーストが軟化し、鉄筋とコンクリートとの付着界面が変質したと考えられ、化学分析の結果とよく一

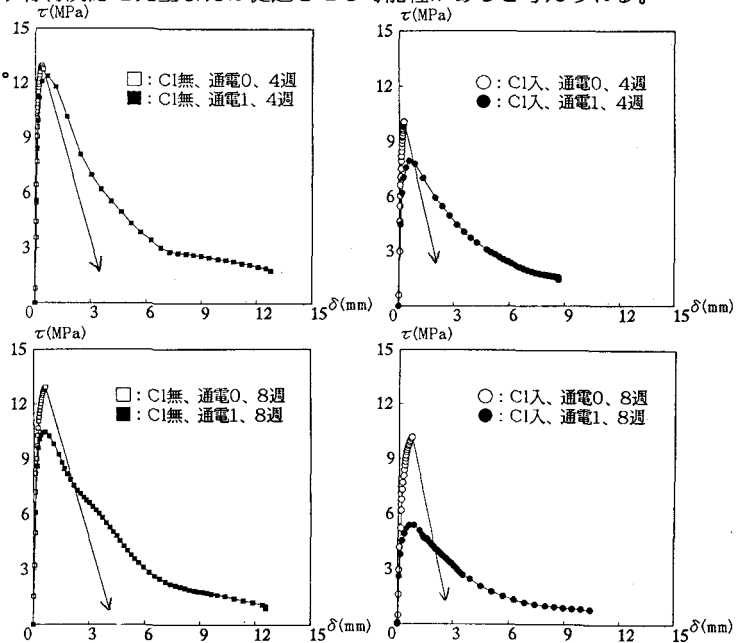


図4 付着応力度-自由端変位曲線

致している。最大付着応力度は電流を流したもののほうが小さな値を示している。C1⁻無混入供試体、C1⁻混入供試体ともにデサリネーション8週間の最大付着応力度の減少率は4週間のものの約2倍に等しい。デサリネーションの効果は通過電荷量に依存することを考えれば、付着に対する悪影響も通电期間が8週間のものは4週間のものの約2倍になったものと推定される。付着応力度-自由端変位曲線の形態自体には、塩化物はあまり影響しないと考えられるが、付着強度には大きな影響がみられ、C1⁻混入による強度の低下が認められる。最大付着応力度の減少率はC1⁻混入供試体はC1⁻無混入供試体の2倍以上の値を示している。この原因として、通电処理をした供試体では、C1⁻とともに混入しているNa⁺の影響で鉄筋周辺にC1⁻無混入供試体よりもさらに軟弱な物質が多く生成しているためと考えられる。したがってC1⁻を含んでいない部分にデサリネーションの影響が及んでも、付着強度低下はあまり大きくはないと考えてよいであろう。

コンクリート表面積当たりで考えると、今回の電流密度は1.0(A/m²)であり、デサリネーションに適用する電流密度としては標準的である。通過電荷量も最大でも1344(A・h/m²)であり、付着強度を著しく低下させるレベルには達していない。ところが、鉄筋表面積で考えると、電流密度は5.0(A/m²)であり、適用し得る電流密度の上限値である。また、通過電荷量も通电4週で3360(A・h/m²)であり、付着強度を著しく低下させるレベルに達している。今回の場合、最大付着応力度の減少率は最高で46.9%と著しい低下を示している。コンクリート中のC1⁻の抽出を主眼とした場合についてはコンクリート表面積を基準とする考え方が妥当であろうが、鉄筋との付着の観点からは鉄筋表面を基準とした方がよいと考えられる。