

京都大学大学院 学生員○上田隆雄 京都大学工学部 正員 服部篤史 正員 井上 晋
京都大学工学部 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 コンクリート中の塩化物をデサリネーション（電気化学的脱塩手法）を用いて取り除いた場合、鉄筋とコンクリートとの付着性状にどのような影響を与えるかを検討した。あらかじめ塩分を混入した鉄筋コンクリート供試体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、自然電位を測定することにより、腐食挙動の変化を把握するとともに、併せて Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ の分布を調べた。さらに、微小硬度の測定を行うことにより鉄筋近傍の微細構造の変化を検討した。

2.実験概要 混入 Cl^- 量として、比較的厳しい塩害が生じた場合に見られる 8.0kg/m^3 を最大とする4レベル（ 0.0 、 4.0 、 6.0 、 8.0kg/m^3 ）を選んだ。電流密度は鉄筋表面積に対して 5.0A/m^2 、通電期間としてデサリネーションでしばしば用いられている4週間とさらに長期とした場合としての8週間を基本とした。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。片引試験用供試体の概念図を図1に示す。

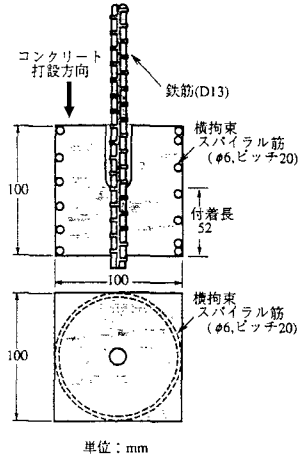


図1 片引試験用供試体

3.試験結果および考察 脱塩率および Cl^- の輸率と通過電荷量の関係を図2に示す。脱塩率は Cl^- 混入量の大小によらず50%程度に収束する傾向が見られる。 Cl^- の輸率は Cl^- 混入量が多いほど、また通過電荷量が小さいほど大きくなっている。これは、通電により抽出される Cl^- を初期に豊富に含んでいる方が Cl^- のコンクリート中の全イオンに占める割合が大きくなり、 Cl^- がより多くの電荷を運び得るということと、

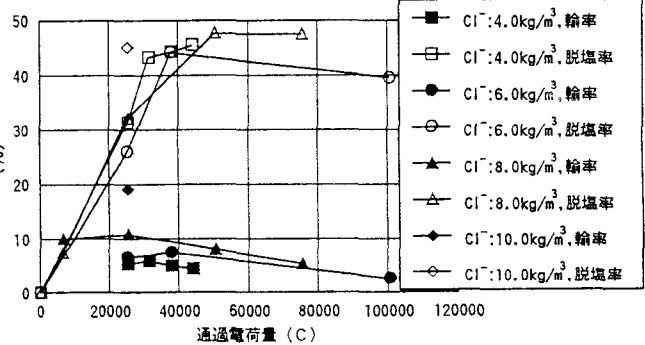


図2 脱塩率および Cl^- の輸率

ある一定の通過電荷量に達すると、それ以降は抽出塩分量は増加しないために Cl^- の輸率の値自体は小さくなることによるものと考えられる。

混入 Cl^- 量が 8.0kg/m^3 の場合のアルカリ（ R_2O ）量の分布状況を図3に示す。通電処理に伴い鉄筋近傍にアルカリが集積していることがわかる。これは、コンクリート中の Na^+ および K^+ の陰極（鉄筋）方向への移動による現象であるために、通電期間が長いほどアルカリの集積量も大きくなるが、8週間を過ぎると集積量の変化は小さくなっている。また、塩化物が NaCl の形でコンクリートに混入されるとコンクリートの含有塩分量が多いほど通電により多量のアルカリが集積することとなる。

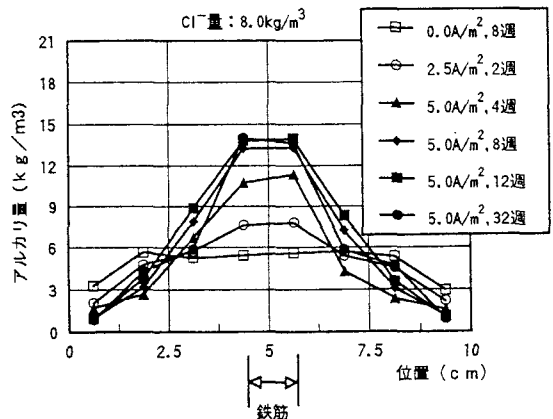


図3 アルカリ量の分布

Cl⁻量が 8.0kg/m³ の供試体について 8 週通電後の放置期間と自然電位の関係を図 4 に示す。なお、図は ASTM の判定区分により 4 つの領域に分割されており、折れ線はそれぞれ 1 つの供試体に対応している。デサリネーションにより、鉄筋の電位は卑な方向に移行し、腐食反応に対して不活性な防食領域の値をとる。処理終了後、時間が経過するとともに、供試体中において新たな電気化学的平衡状態が形成され、十分時間が経過した後に自然電位が非腐食領域に入れば、鉄筋表面における不動態被膜の回復とともにデサリネーションの補修効果が確認されたことになる。図 4 によると、5 週放置後に全供試体が不確定領域に入った後にゆっくりと非腐食領域に近づいている。通電処理終了直後においては鉄筋近傍の遊離した塩分はほぼ完全に抽出されているものと考えられるが、その後の時間の経過とともに固定されていた塩分が遊離する可能性もあり、今後の長期的検討が必要であろう。

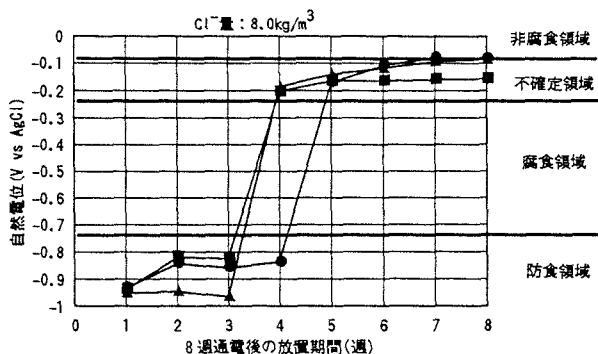


図 4 通電処理終了後の自然電位の経時変化

図 4 によると、5 週放置後に全供試体が不確定領域に入った後にゆっくりと非腐食領域に近づいている。通電処理終了直後においては鉄筋近傍の遊離した塩分はほぼ完全に抽出されているものと考えられるが、その後の時間の経過とともに固定されていた塩分が遊離する可能性もあり、今後の長期的検討が必要であろう。

混入 Cl⁻が 8.0kg/m³ で 2.5A/m² を 8 週通電 (3360A・h/m²) した供試体と 5.0A/m² を 8 週通電 (6720A・h/m²) した供試体について、鉄筋に垂直な断面のセメントペースト部分の微小硬度分布を調べた結果を図 5 に示す。どちらの供試体も鉄筋に近い部分に柔らかい層ができており、また、積算電流密度が大きい 5.0A/m² の供試体の方が軟化しているセメントペーストの範囲が大きい。このような通電に伴うセメントペーストの軟化現象が鉄筋とコンクリートとの付着強度を低下させる原因であると考えられており、通電に伴う鉄筋近傍へのアルカリの集積により、鉄筋付近で濃縮された NaOH や KOH の影響でセメントペースト中の C-S-H 相に含まれるケイ酸塩が溶解性のケイ酸塩に変質するために引き起こされるものと考えられる。

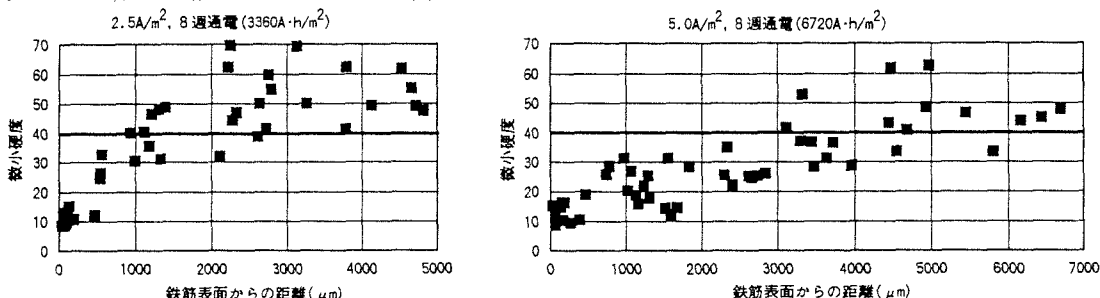


図 5 微小硬度分布

片引試験の結果から得られた最大付着応力比と積算電流密度の関係を図 6 に示す。なお、最大付着応力比は同じ混入塩分量の無通電供試体の最大付着応力を 100% として計算した。通電により鉄筋近傍に集積するアルカリ量は、通電前の混入塩分量が大きいほど大きく、一定時期までは通電期間が長いほど大きい。よって、混入塩分量が大きく、積算電流密度が大きいほど鉄筋とコンクリートとの界面の変質程度も大きくなり、最大付着応力の減少も大きくなると予想される。図 6 によると 5000A・h/m² 程度まではほぼこの予想通りの結果となっている。

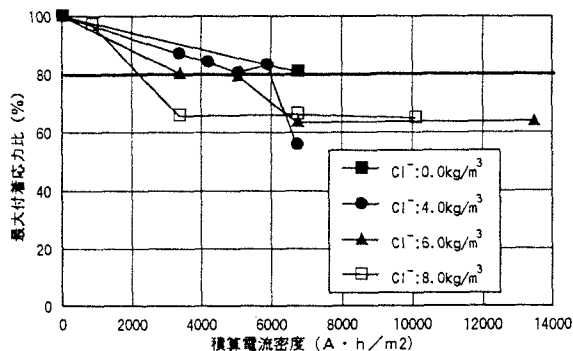


図 6 最大付着応力比と積算電流密度の関係