

ひび割れを有するコンクリート中の鉄筋腐食
シミュレーション

Computer Simulation of Reinforcement
Corrosion in Cracked Concrete

東京大学生産技術研究所

魚本研究室

はじめに

コンクリート構造物において、乾燥収縮、温度応力等により生じたひび割れが早期段階で存在する場合、構造物の性能低下に著しい影響を与えることが知られている。図-1に各環境温度下におけるCl⁻促進浸透試験より得られたひび割れ周辺部のCl⁻濃度（実測値）の一例を示す。ひび割れを有するコンクリートは内部までCl⁻が浸透しやすく、ひび割れを中心とした濃度分布が形成されていることが分かる。また、図-2に同促進試験より得られたコンクリート中の鋼材の腐食減量（自然電位実測値より換算）の経時変化を示す。実験結果より明らかであるように、ひび割れからの腐食因子の進入により鋼材腐食が促進されることは容易に予測できることであり、早期劣化が問題となっている今、かぶりコンクリートのひび割れに起因する鋼材腐食は早急に解決すべき問題と考える。そこで、本研究では塩害環境下における鉄筋コンクリートを対象とし、実験的検討を元に、ひび割れ近傍の鋼材のアノード形成をシミュレーションによって再現し、ひび割れの影響を把握することを目的とした。

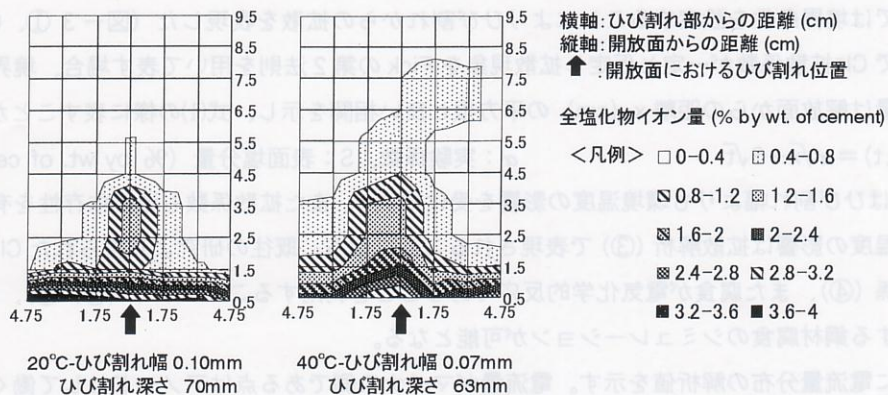


図-1 ひび割れ周辺部の塩化物イオン濃度

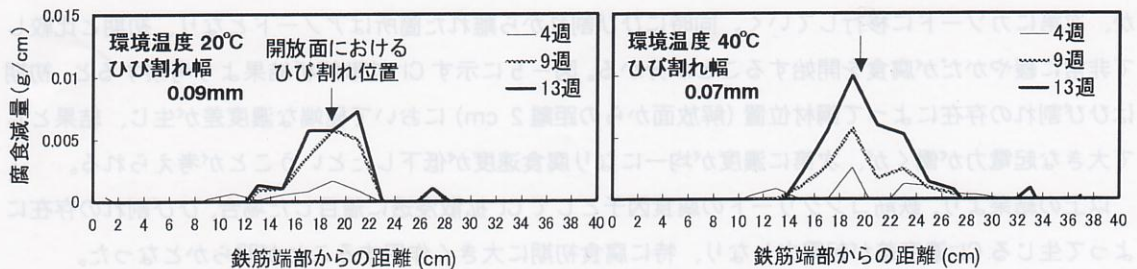


図-2 腐食減量の経時変化

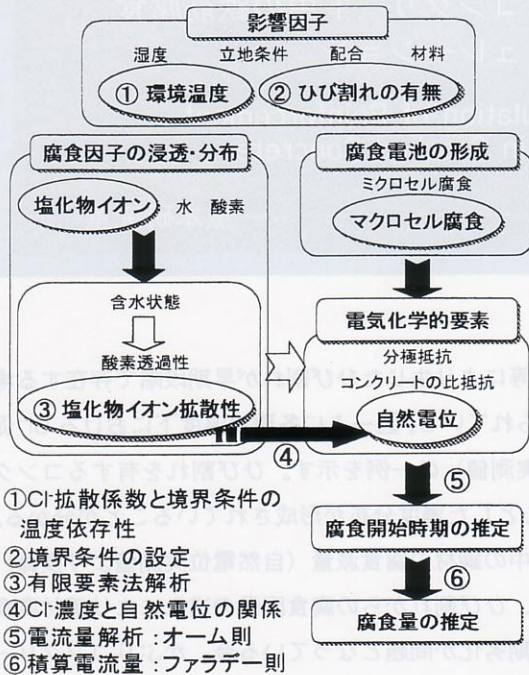


図-3 解析フロー

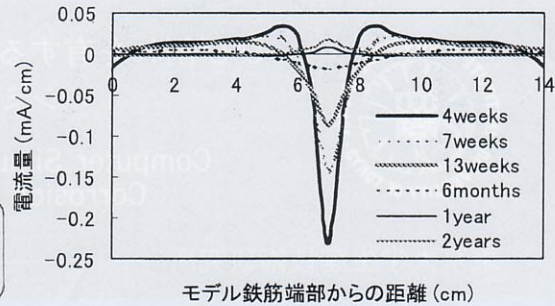


図-4 電流量分布 (環境温度20℃解析値)

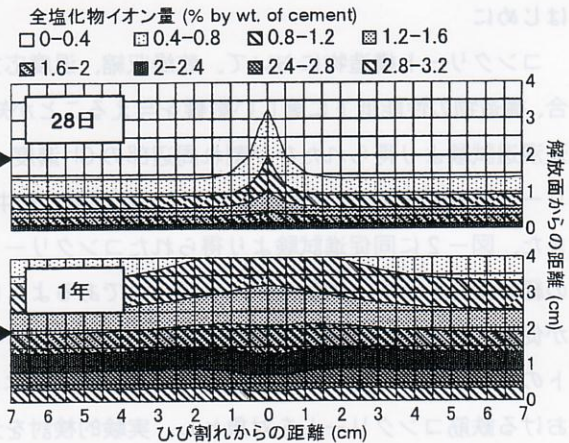


図-5 塩化物イオン濃度分布 (環境温度20℃解析値)

解析条件と結果

本研究では境界条件を設定することによりひび割れからの拡散を表現した (図-3 ①、②)。コンクリート中で Cl⁻拡散係数が一定と仮定し拡散現象を Fick の第2法則を用いて表す場合、境界条件である表面塩分量は解放面からの距離 x (cm) の平方根と良い相関を示し、式(1)の様に表すことができる。

$$C_c(x,t) = \alpha \sqrt{x} + S\sqrt{t} \quad \alpha : \text{実験係数}, S : \text{表面塩分量 (\% by wt. of cement)} \quad (1)$$

係数 α はひび割れ幅よりも環境温度の影響を受けやすく、また拡散係数も温度依存性を有することから、環境温度の影響は拡散解析 (③) で表現されることになる。既往の研究より得られた Cl⁻濃度と自然電位の関係 (④)、また腐食が電気化学的反応であることを利用することにより (⑤、⑥)、Cl⁻濃度差を起電力とする鋼材腐食のシミュレーションが可能となる。

図-4 に電流量分布の解析値を示す。電流量がマイナス側である点はアノードとして働くことを示しており、その値は腐食反応速度を表すに等しい。図-4 より、ひび割れ部は初期はアノードとして働くが、次第にカソードに移行していく。同時にひび割れから離れた箇所はアノードとなり、初期と比較して非常に緩やかだが腐食を開始することが分かる。図-5 に示す Cl⁻拡散解析結果より考察すると、初期はひび割れの存在によって鋼材位置 (解放面からの距離 2 cm) において極端な濃度差が生じ、結果として大きな起電力が働くが、次第に濃度が均一になり腐食速度が低下したということが考えられる。

以上の結果より、鉄筋コンクリートの腐食因子として Cl⁻拡散浸透に着目した場合、ひび割れの存在によって生じる Cl⁻濃度差が起電力となり、特に腐食初期に大きく作用することが明らかとなった。

(執筆担当 塚原絵万、魚本健人)