

早稲田大学 学生員 ○奥村 隆
早稲田大学 正会員 関 博

1. まえがき

鉄筋の腐食によるコンクリート構造物の早期劣化の劣化限界の一つとして、腐食生成物の膨張圧によるひびわれの発生、が考えられる。このひびわれは、鉄筋とコンクリートの付着を破壊し、また腐食をさらに促進する原因となる、など構造物の耐久性を著しく損なう。実際の構造物においてこの現象を予測するためには、i) いつ腐食が開始するのか、ii) 腐食速度はいくらか、iii) どれだけ腐食するとひびわれが発生するのか、といった事項を、様々な条件（材料の品質、環境など）を含めて定量的にとらえる必要がある。ここではiii)のひびわれ発生時の腐食量をとらえるために、腐食促進試験として電食試験を行なった。

2. 試験方法

供試体は鉄筋（SS41， $\phi 25\text{mm}$ みがき棒鋼）を中央に埋込んだ角柱とした。かぶり厚は 7cm ，W/Cは55%である。また腐食促進のために塩化ナトリウムを添加し、その量はセメント重量に対し0.3%，0.5%，1.0%の三通りとした。試験方法は図1に示すように、直流電源により 100mA （ $0.637\text{mA}/\text{cm}^2$ ）の定電流を負荷し、供試体表面にひびわれが確認されるまで、また一部はある一定時間まで、通電した。ひびわれの確認はコンクリート表面のひずみ制御、電極間の電圧の降下、及び目視による観測により行なった。通電終了後、取り出した鉄筋は10%クエン酸2アンモニウム溶液に24時間浸漬して錆を除去した後、重量減を求めた。また供試体を割裂させた後のコンクリートからは図2に示す位置より試料を採取し粉碎した後、JCI「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法(案)」¹⁾を準用し全塩分濃度の分布を調べた。

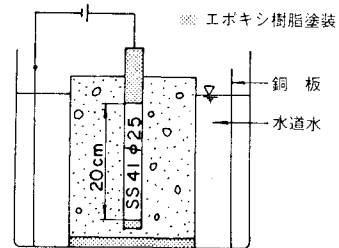


図1 電食試験の方法

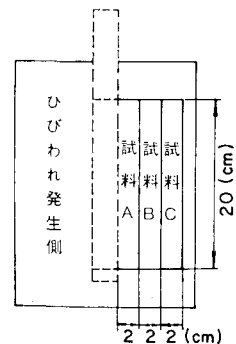


図2 塩分分析試料採取位置

3. 結果及び考察

1) 腐食量

ひびわれ発生時の腐食量を図3に示す。本図によると、塩分量が0.3～0.5%（セメント重量に対して）の範囲では、 $4\sim6\times 10^{-3}\text{g}/\text{cm}^2$ の腐食量でひびわれが発生するようである。

塩分量0.5%の場合の積算電流量と腐食量の関係を図4に示す。

本図より、ひびわれ発生後は腐食速度が早くなることが確認できる。すなわち、ひびわれの発生により電食係数が増加するものと考えられる。また、ひびわれ発生以前の鉄筋の腐食状況を観察すると、腐食は上部より開始する傾向が見られた。これは打設時のブリージングによる水分の移動のために供試体上部の方が cl^- 濃度が高い、及び水線付近であるため酸素量が多い、といった原因が考えられる。

次に腐食量測定における誤差を考える。試験前はエポキシ樹脂塗装前、試験後は腐食設定区間部のみを切断したもの（いずれも鉄筋端部はセン盤仕上げ）について長さをハイトゲージ（最小目盛 $1/100\text{mm}$ ）、重量を

直示天秤（最小目盛 $1/100g$ ）によって測定し、単位長さ重量減を求め、公称直径を用いて単位表面積当りの重量減に換算した。セン盤仕上げ及び長さ測定の誤差は約 $\pm 0.02\text{ mm}$ 、重量測定の誤差は約 $\pm 0.02g$ と考えられ、これに公称直径の誤差を $\pm 0.5\text{ mm}$ とすると、今回の腐食重量減の誤差は $\pm 1.2 \times 10^{-3} g/cm^2$ となった。

2) 塩分分布

図5に鉄筋からの距離に対する塩分量を示す。当初は塩分量の少ないもの（通電時間の長いもの）ほど cl^- が鉄筋に引き寄せられる傾向が大きいであろうと予想していたが結果はこの逆となった。これはセメントによる塩分の固定の影響によるものと思われる。もし cl^- のうちセメント重量に対し 0.4% がフリーデル塩の形で固定されるとすれば²⁾ 今回の配合に換算するとコンクリート重量に対し 0.10% ($NaCl$ 換算) 固定される計算になる。塩分量を多く添加したものほど移動可能な可溶性塩分を多く含んでいるため、陽極である鉄筋に引き寄せられる傾向が大きくなったと考えられる。

また塩分濃度レベルが、打設時に添加した塩分と材料中に含まれる塩分との和、に比較して高い。特に塩分量 1.0% 時には大きな差があった。この原因としては、粉碎の方法、ブリージング、電解液中の塩分、などの影響が考えられる。このため今回は、可溶性塩分が電食試験中に陽極側に引き寄せられるのではないかと、いう定性的傾向は認められたものの、定量的把握、また試験に及ぼす影響の調査は今後の課題となった。

4. 結 論

今回の試験の範囲内においては以下の事項が明らかになった。

- 1) 塩分量 $0.3, 0.5\%$ の場合、 $4 \sim 6 \times 10^{-3} g/cm^2$ の腐食量でひびわれが発生する。
- 2) ひびわれ発生後の腐食速度は発生以前の $2 \sim 3$ 倍となる。
- 3) 電食試験中に可溶性塩分は陽極側へ移動する。

今後は錆の力学的性質、化学的組成など腐食生成物の検討、それがひびわれ発生機構の解析に及ぼす影響の研究、を現在までに行なった実験パラメーター（かぶり厚、塩分量、 W/C 、電流量）^{3), 4)} と合わせて考える必要がある。

なお本実験にあたり御協力を頂いた卒論生岡本君、小林君、藤原君にはここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) JCI：硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法（案），コンクリート工学，1984. 12
- 2) 例えば，JCI：海洋コンクリート構造物の防食指針（案），pp63, 1983
- 3) 関，伊東：鉄筋の腐食による軸方向ひびわれの発生機構について，セメント技術年報，1982
- 4) 関，河原：鉄筋の腐食による膨張ひびわれに関する研究，セメント技術年報，1984

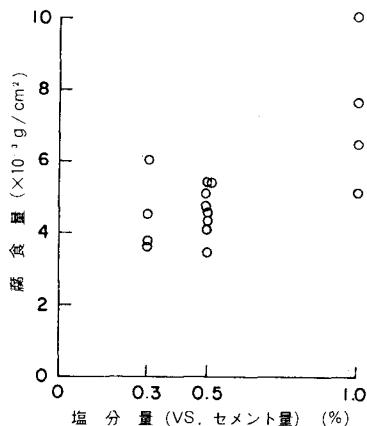


図3 ひびわれ発生時の腐食量

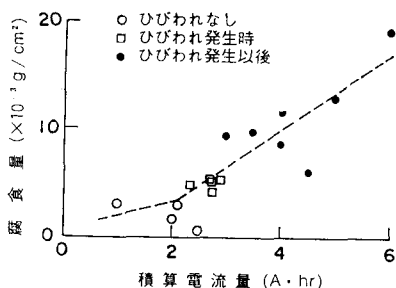


図4 積算電流量と腐食量（塩分量 0.5% ）

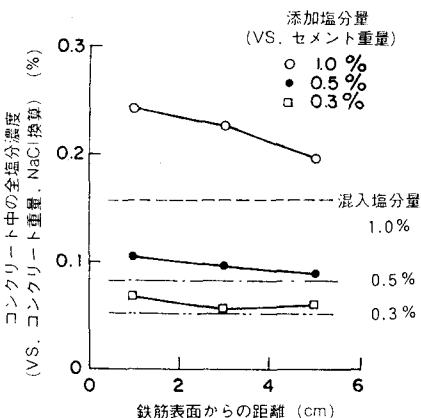


図5 全塩分のコンクリート中での濃度分布