

新しい分極曲線測定法によるコンクリート中鋼材の腐食速度測定

日本防蝕工業(株)技術研究所 正会員 ○竹子 賢士郎
 日本防蝕工業(株)技術研究所 正会員 山本 悟
 京都大学大学院工学研究科 正会員 高谷 哲

1. 目的

コンクリート中鋼材は塩害によって腐食する．これまでコンクリート中鋼材の非破壊検査は，目視観察や自然電位法，分極抵抗法などが主流であったが，それらは定量的に精度良く腐食量や腐食速度を求めることはできない．そこで，測定対象ごとの分極曲線測定からターフェル式を求める方法を新たに開発し，塩害環境を模した供試体試験でその妥当性と適用範囲を検証したので報告する．

2. 分極曲線測定方法

今回開発した，分極曲線からターフェル式を求める新しい方法は，余分な分極ならびに電圧降下の影響を受けないように，迅速にかつ断続的に通電した分極曲線から外挿法によって腐食速度を求めるもので，呼称を以下，CIPE 法(Current Interrupted Polarizing Extrapolation Method) とする．測定対象鋼材の面積に対する電流密度が $0.001 \sim 2,000 \text{ mA/m}^2$ の範囲で段階的に電流密度を上げ，短時間に通電し，電流遮断直後の電位 E_{ins} (以下，インスタントオフ電位と呼ぶ) を測定後に数十秒間通電を遮断しながら断続的に分極試験を行った．得られた分極曲線から，ターフェル勾配 β の目安をカソードおよびアノードの両方向について計算し，さらに目標分極量 η_{trg} を計算して，分極量 η_t ならびに η_{t-1} から見掛けのカソード側ターフェル勾配 β'_c および見掛けの平衡電位 E_c^0 を求めて，ターフェル式を求めた．このターフェル式に自然電位 E_{cor} を代入して腐食電流密度 i_{int} を計算した．以上を図-1 で説明する．

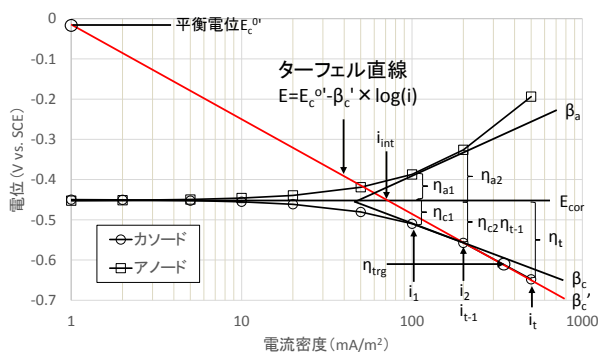


図-1 CIPE 法の説明

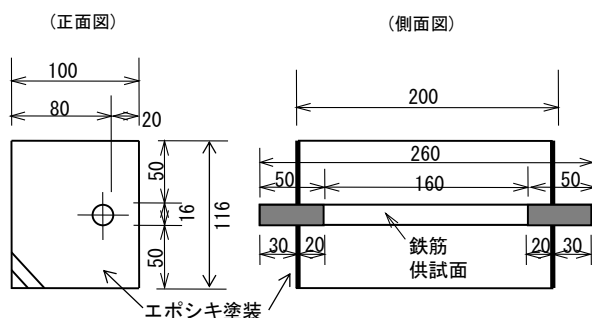


図-2 供試体寸法

3. 試験方法

CIPE法の精度確認のため，以下の供試体試験を行った．

使用した供試体の形状寸法を図-2に，測定方法を図-3に示す．セメントは普通ポルトランドセメントを使用し，鉄筋を腐食させるため，塩化物イオンが 10 kg/m^3 となるように食塩をコンクリートに添加した．鉄筋は直径 16 mm のみがき丸鋼を使用し，供試面積が $8.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ となるように塗装および粘着テープで被覆した．また，打設 19 日後に 1 A/m^2 で 7 日間のアノード溶解処理を行った．供試体は 2 体作製し，1 体は室温における飽和湿度大気中に，もう 1

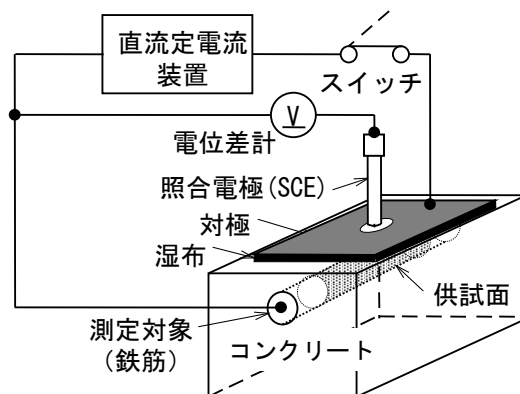


図-3 測定方法

体は 3% 塩化ナトリウム溶液に常時浸漬したものとした．また，塩分を含まない供試体も 1 体作製し，飽和湿度大気中に静置した．各曝露期間終了時に CIPE 法による測定を行った後，供試体を解体して鉄筋を取り出し，

キーワード コンクリート中鋼材，塩害，分極曲線，非破壊検査，腐食速度測定，供試体試験

連絡先 〒258-0021 神奈川県足柄上郡開成町吉田島 3540-2 日本防蝕工業(株)技術研究所 TEL 0465-44-4114

除錆（JIS Z 2371 塩水噴霧試験法の化学的腐食生成物除去方法に準ずる）後に秤量した。

4. 結果および考察

CIPE法によって測定した腐食速度 i_{int} と鉄筋の質量減から求めた腐食速度 i_{cor} の比較表を表-1に示す。ここでは、質量減から求めた実際の腐食速度 i_{cor} と CIPE 法によって求めた腐食速度 i_{int} はほぼ一致した。しかし常時浸漬供試体の結果では、腐食速度 i_{cor} がほぼ 0 であるのに対して、CIPE 法によって測定した腐食速度 i_{int} は 80mA/m^2 となった。図-4に大気中の分極曲線を、図-5に常時浸漬の分極曲線を、図-6に塩分を含まない供試体の分極曲線を示す。腐食速度が大きくずれた理由としては、常時浸漬では、酸素の供給性が悪くなり、図-5示すように自然電位 E_{cor} が -791mV vs. SCE と非常に卑な値を示した。また、分極に必要な電流密度が増加し、電流密度 100mA/m^2 においても分極量は 10mV 未満であった。このように自然電位 E_{cor} が -791mV vs. SCE と卑な場合は、鉄筋の表面状態は活性であるが、腐食に必要な酸素の供給性が悪いために腐食速度はほぼ 0mA/m^2 と判定することができる。

また、塩分を含まない供試体では、自然電位 E_{cor} は -300mV vs. SCE のように貴な値を示し、 1mA/m^2 におけるアノード分極量は 29mV と図-4および図-5に比較して大きかった。また、カソード分極を行った後の自然電位の卑化（ヒステリシス）が認められた。これらは、鉄筋表面が不動態化しているために、通電電流による電位の変化が大きく現れたものと考えられる。このことから、CIPE 法による分極特性から鉄筋表面の不動態化が推定できることが示唆された。

5. まとめ

測定対象ごとの分極曲線からターフェル式を求める方法を新たに開発し、その妥当性および適用範囲を検証する試験を行った結果、以下のことが分かった。

(1) CIPE 法は腐食したコンクリート中鋼材の分極曲線からターフェル直線を求め、腐食速度を精度よく測定することができた。

(2) CIPE 法により、通気性の悪いコンクリート中鋼材の腐食速度が非常に低いことが判定できる。

(3) CIPE 法により、鉄筋表面が不動態化していることを推定できる。

6. 参考文献

- 岡本剛，佐藤教男，永山政一：酸性水溶液中の鉄の分極特性測定に対する迅速法の適用とその意義，電気化学，Vol.25，pp.166-174，1957
- 竹子賢士郎，山本悟，高谷哲：分極曲線測定によるコンクリート中鋼材の腐食速度測定方法の開発，日本コンクリート工学協会年次論文集，2014，（投稿中）

表-1 腐食速度比較表

暴露条件	自然電位 (mV vs SCE)	腐食速度 $i_{\text{int}}(\text{mA/m}^2)$	腐食速度 $i_{\text{cor}}(\text{mA/m}^2)$
大気中	-450	70	80
常時浸漬	-791	80	≒0

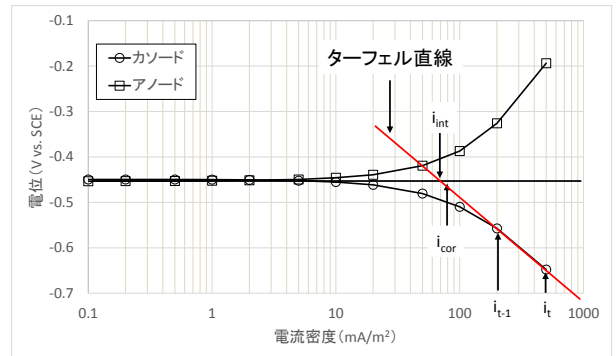


図-4 大気中供試体の分極曲線

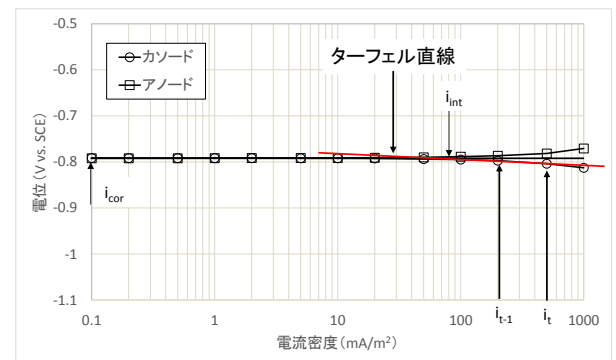


図-5 常時浸漬供試体の分極曲線

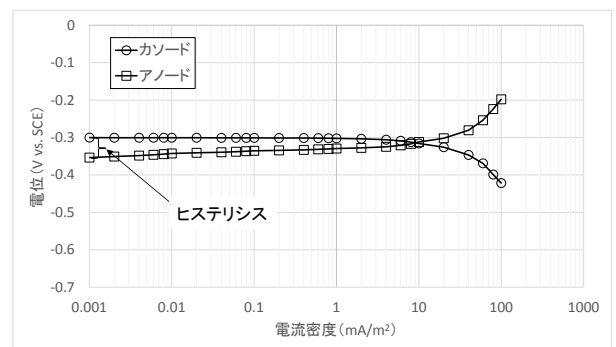


図-6 塩分を含まない供試体の分極曲線