

[28] コンクリート中鋼材の非破壊腐食評価方法について

正会員 ○田村 博 (日本建築総合試験所)
 正会員 吉田 正友 (日本建築総合試験所)

1. まえがき

コンクリート中鋼材の腐食状態を、腐食の有無だけでなく腐食速度を含めて推定する方法は、コンクリート構造物の劣化の診断および補修効果の確認などに役立つものと考えられる。著者らは、その一つの方法として、コンクリート表面で3つの電気化学的特性値を測定する非破壊腐食探査方法を考案し検討を続けている。¹⁾²⁾ この方法は、図-1に示すように鋼材を試験極とし、腐食状態を確認したい鋼材に最も近いコンクリート表面に2極プローブ（照合電極と対極を電解液に浸したものを）を接触させて、分極抵抗計によって自然電位 (E)、分極抵抗 (R_p) ならびに液抵抗 (R_e) を測定するものである。

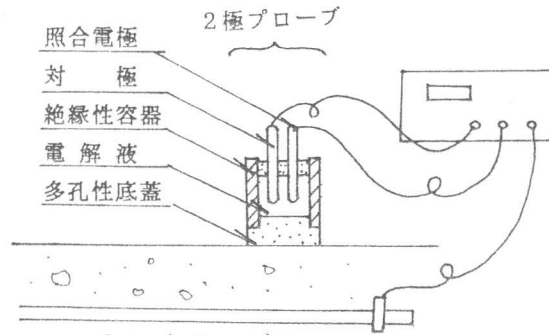


図-1 非破壊腐食探査装置

前報²⁾では、本方法を提案し、コンクリート表面にあてた2極プローブと分極抵抗計により、プローブ直下部の鋼材に関する3つの電気化学的特性値が得られること、ならびにコンクリート中鋼材の腐食反応に対して単位等価電気回路が設定でき、3つの電気化学的特性値から鋼材の腐食状況を推定する場合には $E-I-R_p$ 図が有効であることを示した。本報告では、前報のコンクリート中鋼材の腐食に対する等価電気回路モデルに対する改良案を提案するとともに、同等価電気回路モデルを用いて行なった、コンクリート表面の乾湿条件が自然電位に及ぼす影響についての検討結果を実測例による検討結果と併せて述べる。

2. コンクリート中鋼材の腐食に対する等価電気回路モデル・改良案

前報において示した等価電気回路モデルは、図-2 (a) に示す、一対のアノード部、カソード部から成る単位等価電気回路である。2極プローブ直下の範囲内に、鋼材の腐食電池が形成されている場合に、同回路を設定することが可能である。したがって、マイクロセル腐食状態の場合には2極プローブ底面の大きさのいかんにかかわらず、同回路モデルが適用できる。一方、マクロセル腐食状態の場合には、2極プローブ底面の大きさをマクロセルの範囲の大きさに応じて適確に修正できる場合には適用できることにはなるが、現実的には無理があり改良の余地があった。

そこで、今回新たに図-3に示すような改良案を提案する。この回路は、先に提案した単位等価電気回路を電気抵抗（以下、表面抵抗 (R_s) と呼ぶ）で連結したものである。すなわち、マクロセルはマイクロセルを表面抵抗 (R_s) で結んだものとした。

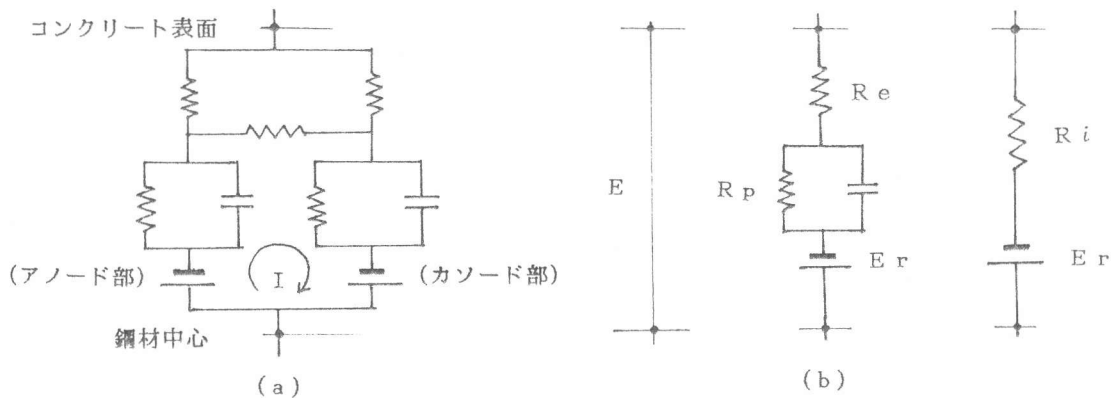


図-2 ミクロ電気回路モデル

図-3に示す・印がコンクリート表面での測定点を示す。分極抵抗計で測定される自然電位 (E)、分極抵抗 (R_p)ならびに液抵抗 (R_e)は、図-2 (b) に示すものである。同図中のE_rが鋼材表面の電位(以下、鋼材表面電位と呼ぶ)である。R_pとR_eをまとめて内部抵抗R_iとして簡略表示すれば、図-2 (c)のごとくなる。

そこで、これらR_i、E_rに加え、先に述べたR_sを用いて図-3 (a) の回路を書き直すと、図-3 (b)のごとくなる。これを、コンクリート中鋼材の腐食をマクロに把えた場合の電気回路として提案する。以下、この電気回路モデルをマクロ電気回路モデルと呼び、図-2に示した単位等価電気回路モデルを、ミクロ電気回路モデルと呼ぶ。

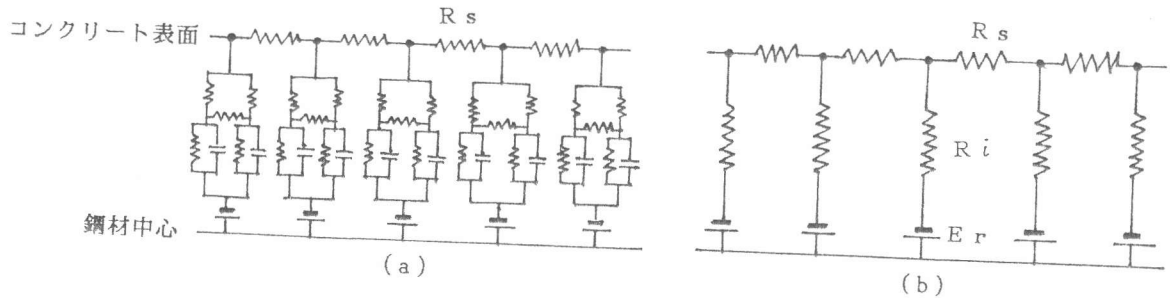


図-3 マクロ電気回路モデル

3. コンクリート表面の乾湿条件が自然電位に及ぼす影響について

コンクリート表面の自然電位の値ならびにその分布状況は、コンクリート中鋼材の腐食状況を推定するために有効な情報であるにもかかわらず、コンクリート表面の乾湿条件によって著しく変化する場合などもあり、その解釈が困難であった。以下に、コンクリート表面の乾湿条件が自然電位に及ぼす影響について、上に述べたマクロ電気回路を適用した算例による検討ならびに実測例による検討結果を示す。

3-1 算例による検討

図-4に示すように、有限な長さをもつマクロ電気回路モデルを設定し、マクロアノード部の鋼材表面電位を-500、マクロカソード部の鋼材表面電位を0として、電位分布の異なる3種類の腐食状態を仮定した。すべての位置で鋼材表面電位が-500を示している例は、ミクロセル腐食状態の一例であり、その他2例はマクロセル腐食の例である。

ところで、コンクリート表面が湿潤状態の場合には、内部抵抗 (R_i) に比べ表面抵抗 (R_s) が小さくなる、と考えられる。そこで、それぞれの腐食状態についてR_s/R_iの値を変化させて、コンクリート表面の測定点 ① で得られる自然電位 (E) を算定した。なお、内部抵抗値については一様に分布する場合の他、マクロアノード部とマクロカソード部で異なった値をとる場合について算定を行なった。また、表面抵抗値についても同様の検討を行なった。

算定結果を図-4 (a) ~ (i) に示す。これらの結果から次のようなことがわかった。

- ① R_s/R_iの値が大きい場合ほどE分布はE_r分布に近似し、逆にR_s/R_iの値が小さい場合には、E分布は平均化されて一様となる傾向がある。言い換えれば、コンクリート表面で得られる自然電位の分布は、表面が乾燥している場合には湿潤な場合に比べて鋼材表面の自然電位の分布に近似しており、湿潤になるにつれて自然電位が全体に均されていく傾向がある。
- ② R_s/R_iの値が小さくなると、Eの値は、E_rが相対的に卑な部分では貴の方向へ、E_rが相対的に貴な部分では卑な方向へそれぞれ変化する。言い換えれば、コンクリート表面で得られる自然電位は、コンクリート表面が湿潤な場合には乾燥した場合に比べて、マクロアノード部ではより貴に、マクロカソード部ではより卑となる。
- ③ R_sの値が零の場合にはE分布は一様となる。言い換えれば、コンクリート表面が完全に湿潤な状態では、鉄筋表面の電位分布のいかんにかかわらず、コンクリート表面の電位分布は一様となる。
- ④ R_sの値が零で、特にR_i分布が一様な場合には、コンクリート表面の電位Eはアノード部とカソード部の面積比に影響されることとなり、次式で与えられる。

$$E = (E_a \cdot A_a + E_c \cdot A_c) / (A_a + A_c)$$

ここにE_a、A_a:アノード部の電位、面積、 E_c、A_c:カソード部の電位、面積。

言いかえれば、コンクリート表面が完全に湿潤な場合で、内部抵抗が一様に分布している場合には、コンクリート表面の電位は、アノード部の面積が大きい場合にはアノード部の電位に近い卑な値をとり、小さい場合にはカソード部の電位に近い貴な値をとる。

⑤ R_i 分布が一様でない場合の E 分布は、 R_i 値が小さな部分に関する E_r 値の方へ偏ったものとなる傾向がある。言いかえれば、内部抵抗の分布が一様でない場合には、コンクリート表面の電位分布は、内部抵抗の小さな部分の鋼材表面電位に偏ったものとなる。

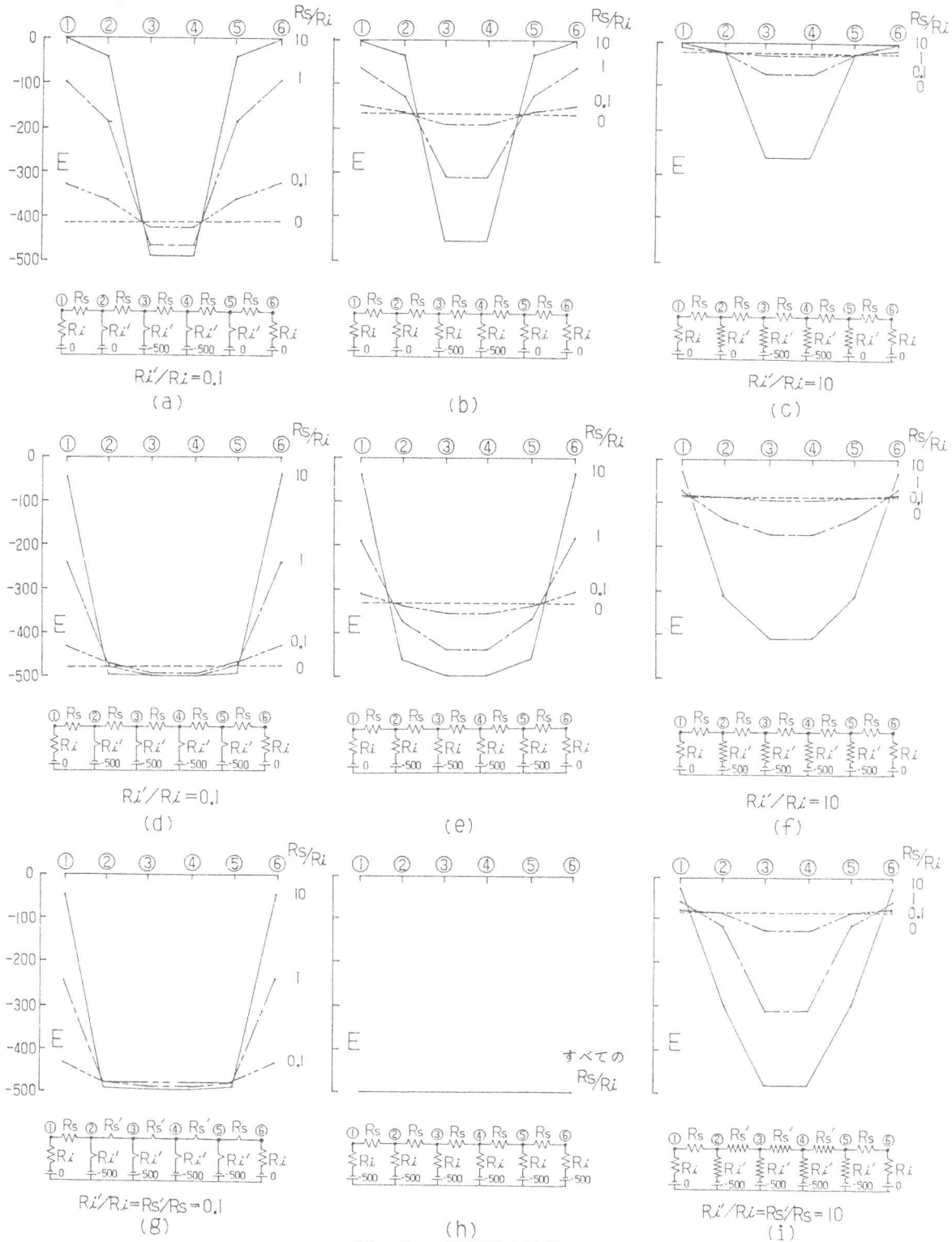


図-4 電位算定結果

3-2 実施例による検討

既存RC柱について図-1に示す方法で、非破壊腐食探査を行った結果を図-5に示す。測定は、コンクリート表面が気乾状態の場合と表面を強制的に湿潤状態とした場合について行った。上記算例による検討の結果明らかとなった、コンクリート表面の自然電位に関する定性的な特性が、同図において下記のとおり確認できた。

- ① 目視観察結果によりマクロセル腐食状態にあるとみなされる上半分の範囲の鉄筋については、コンクリート表面が乾燥した状態では自然電位の分布状態が起伏に富み、湿潤状態では起伏が緩かとなっている。また、分極抵抗の値や目視観察の結果によりアノード部と指定される部分では、コンクリート表面を乾燥状態から湿潤状態に変化させた場合に電位が貴変しており、その他の部分では卑変している。
- ② 目視観察結果によりミクロセル腐食状態にあるとみなせる下半分の範囲の鉄筋については、コンクリート表面の乾湿の変化によって、ほとんど自然電位の変化がない。
- ③ 湿潤状態における自然電位の値は、上半分の範囲と下半分の範囲でそれぞれほぼ一様な値を示し、かつ鉄筋の腐食が顕著な上半分の範囲でより卑な値を示した。

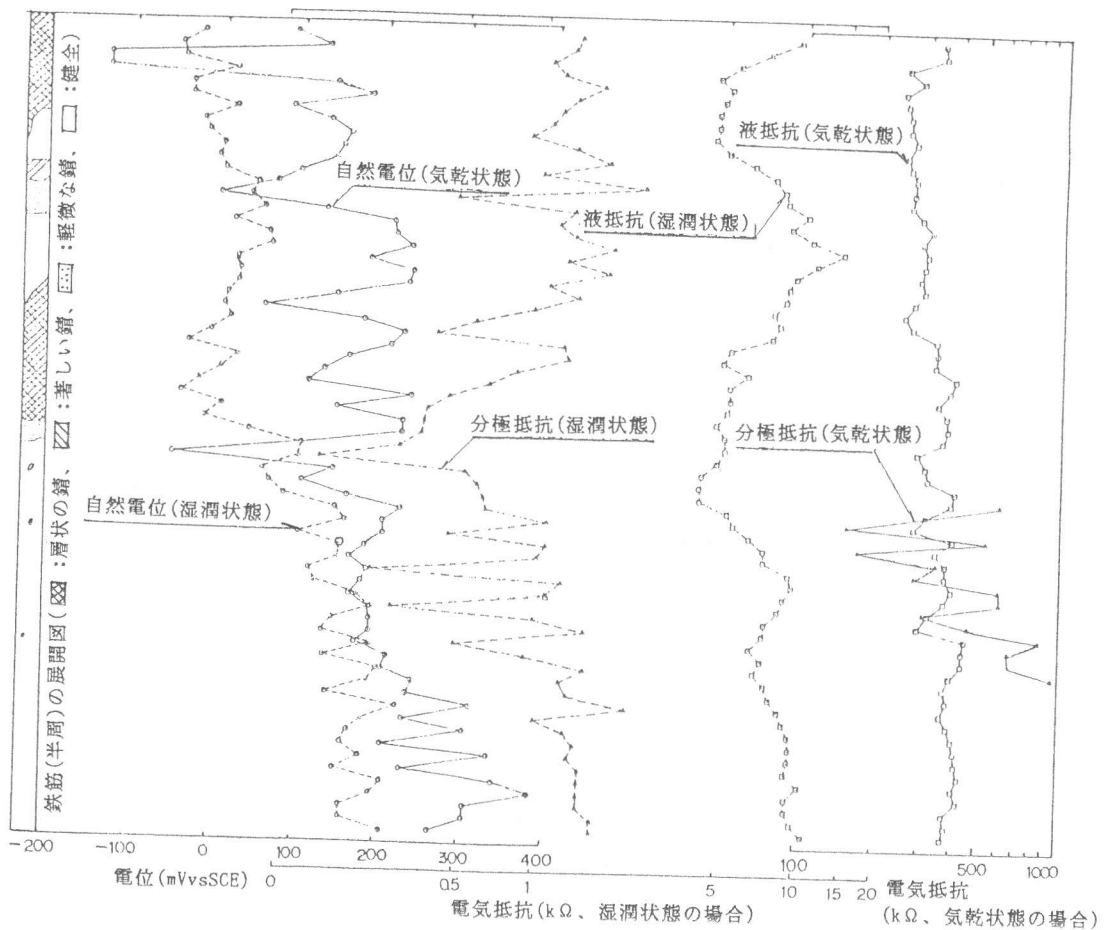


図-5 非破壊腐食探査・実測例

4. まとめ

コンクリート中鋼材の腐食に対する等価電気回路モデルとして、マイクロ電気回路モデルならびにマクロ電気回路モデルを提案した。また、マクロ電気回路モデルを用いて、コンクリート表面が得られる自然電位に対するコンクリート表面の乾湿条件の影響を検討した結果、定性的な傾向が把握された。その傾向は実測結果例によっても確認された。今後も、この非破壊腐食探査法について引き続き詳細な検討を行ない同探査法の信頼性を高めていきたい。

- (参考文献) 1) 田村、吉田：日本建築学会大会学術講演梗概集、1983, PP.43~46
 2) 田村、吉田：第6回コンクリート工学年次講演会論文集、1984, PP.205, 206