

論文

[1124] コンクリート中鋼材の交流インピーダンス分布測定技術の開発

柴田 睦\*1・梶山文夫\*2

1. 緒言

コンクリート中の鋼材の腐食問題が話題に上って久しいが、腐食対策工法の選定に必要とされる、定量的な非破壊腐食診断技術の開発が早急に望まれている。交流インピーダンス法も大いに期待されている手法のひとつである[1, 2, 3]が、実際の大型構造物に適用した場合、印加した交流電流が不特定範囲に不均一に分散してしまい特定範囲のインピーダンスが測定できない、すなわち腐食と相関のある単位面積あたりのインピーダンスが求められないことが課題のひとつとなっている。この課題を解決する手段として、鋼構造物を伝送路と見立てた解析手法[4]、あるいは保護電極を用いた測定手法[1]などが提案されているが、いずれの手法も実際の構造物に適用するとある程度の補正が必要とされている。

著者らは、上記の課題を解決すべく、多点電位制御方式による交流インピーダンス分布測定技術の開発を行なった[5]。本技術は、コンクリート表面から鋼材に複数台の交流電流発生器を用いて、複数箇所における腐食電位の交流成分の振幅および位相が互いに等しくなるように、交流電流を印加する方式をとっている。これにより、交流電流の分布は上記の腐食電位測定箇所間の中間点までに限定されることになり、特定範囲のインピーダンスが求められることになる。本報では、かぶりの異なるコンクリート中配管に本技術を適用し、種々の検討を行なった結果について報告する。

2. 試験方法

2.1 試験装置

図-1は、多点電位制御方式による交流インピーダンス測定装置を示したものである。本測定装置は、定電位電源（㈱東方技研製 PS-14）3台および周波数特性解析器（㈱エヌエフ回路設計ブロック製 S-5720C）1台からなる。各定電位電源に対応する照合電極（Ag/AgCl電極）各1個を中心に、対極（Pt電極）それぞれ2個をコンクリート表面に図のように配置した。照合電極および対極は、それぞれ飽和 KCl水溶液で満たされた、底面に液絡のための多孔質焼結板と吸湿性マットを有する円筒ケースに挿入して用いた。各照合電極の間隔および照合電極と対極の間隔は、それぞれ

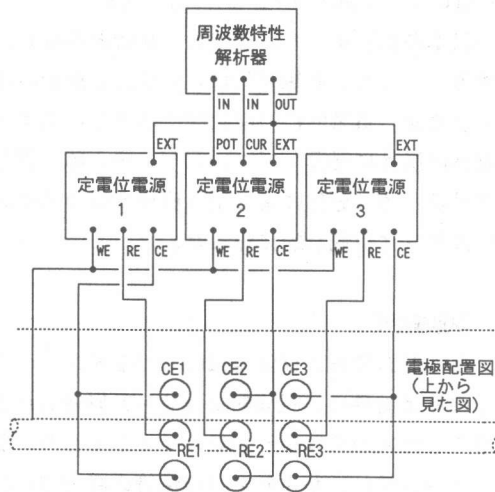


図-1 測定装置

(WE: 試料極, RE: 照合電極, CE: 対極)

\*1 東京ガス(株)基礎技術研究所、工修（正会員）

\*2 東京ガス(株)基礎技術研究所、工博

の中心間の距離が10cmおよび6cmとなるようにした。交流電圧の印加条件は、振幅を10mV rms、周波数を1kHz~10mHzの範囲で10ポイントとした。

なお、本技術の優位性を評価するために、1台の定電位電源と1台の周波数特性解析器および1個の照合電極と1対(2個)の対極からなる、1点電位制御方式による交流インピーダンス測定装置による測定、ならびにエレクトロメータ(㈱東方技研製 PS-14 内蔵)による腐食電位の測定も行った。

## 2. 2 試験供試体

図-2は、本試験で用いた試験供試体を示したものである。供試体としては模擬配管を2、10cmと異なるかぶり(埋設)で埋設した2種類のコンクリート体を用いた。コンクリートは、スランプ8cm、水セメント比56.5%、単位セメント量284kg/m<sup>3</sup>、空気量4.0%、細骨材率40.9%のものを使用した。大きさは管軸方向200cm×離れ方向60cmであり、高さはかぶりによって異なり、それぞれ32、40cmである。模擬配管は、短管(表面の黒皮を除去した炭素鋼管、外径:28mm、管厚:2.8mm、長さ:9cm)21本を1cmの間隔において塩ビ製治具(塩ビ製パイプ)に固定したものをを用いた。通常は、各短管にとりつけたリード線と隣接する他の短管のリード線とを電氣的に導通状態にして、21本の短管を1本の連続した配管とみなした上で各種測定を行なった(以下、短管導通時と称する)。また、各短管単独、すなわち配管の特定範囲についての各種測定も、各短管のリード線を切り離し電氣的に絶縁状態にすることにより行なった(以下、短管絶縁時と称する)。

供試体は屋外に暴露しておいたが、中心部(管軸方向95cm~105cmの位置)には、局部腐食を発生させるために管体にまで至る直径5mmの穴を3箇所設けて、3wt% NaCl水溶液を滴下することにより常に湿潤状態に保った。

## 3. 試験結果

### 3. 1 腐食部および健全部におけるインピーダンス測定結果

以下の測定結果は、試験開始後6ヶ月経過したときのものである。このとき、3wt% NaCl水溶液を滴下した穴からは錆汁が滲みでてきており、局部腐食を蒙っている様相が確認された。

図-3(a)(b)は、かぶり2cmの配管の腐食部(100cm)および健全部(50cm)における、多点電位制御方式によるインピーダンス測定結果を、1点電位制御方式および短管絶縁時の測定結果と比較して、Cole-Coleプロットで示したものである。なお、短管絶縁時の結果は1点電位制御方式によるものである。

まず短管絶縁時の結果では、腐食部のインピーダンスは健全部のものに比べて非常に小さく、実際の腐食状況を反映していることを示している。しかし、実際の配管に相当する短管導通時に

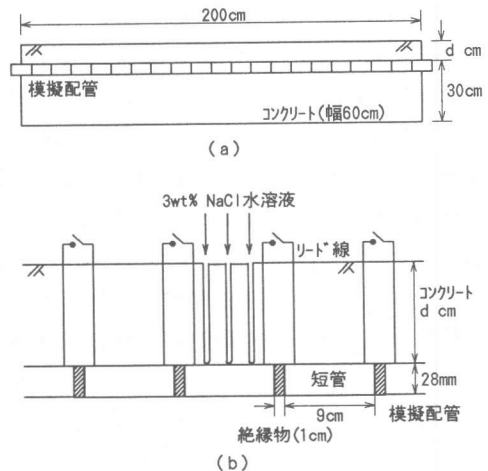
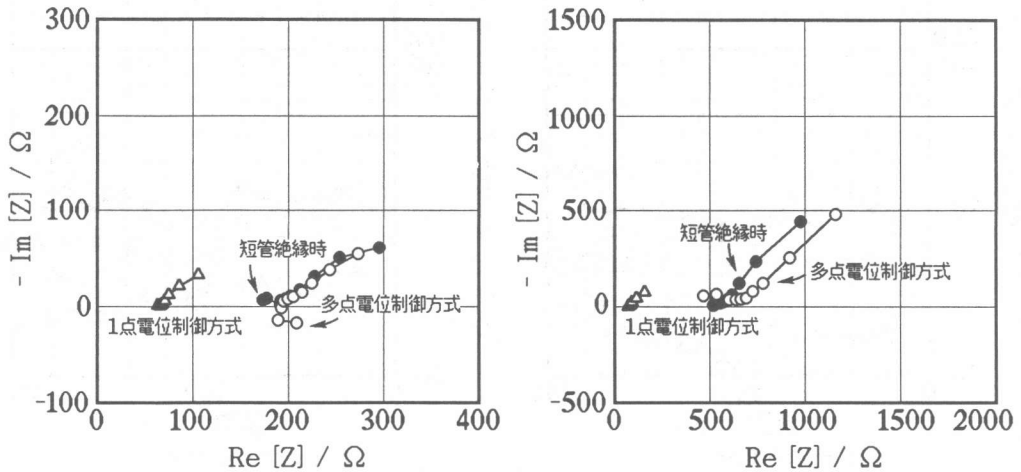


図-2 試験供試体  
(a)全体図 (b)腐食部詳細図

おける1点電位制御方式の結果は、いずれの箇所でも短管絶縁時のものに比べて全体的に小さくなり、しかも腐食部と健全部とであまり差が見られなくなる。これは、1点電位制御方式では印加した交流電流が広い範囲に分散して流入することに起因するものと考えられる。

これに対して多点電位制御方式の結果は、いずれの箇所でも短管絶縁時のものと良く一致しており、本方式が通常の配管においても配管の特定範囲のインピーダンスを測定できるものであることを示している。



(a)腐食部(100cm)

(b)健全部(50cm)

図-3 インピーダンス測定結果

### 3.4 腐食電位、インピーダンス分布測定結果

図-4は、かぶりか2、10cmの配管における多点電位制御方式による10mHzのインピーダンス分布を、1点電位制御方式によるインピーダンス分布および腐食電位分布、ならびに短管絶縁時の各分布とともに示したものである。なお、腐食電位は銅硫酸銅電極基準の値に換算して表示した。

腐食電位分布は、短管絶縁時には実際の腐食状態とよく対応しているとみなされるものの、短管導通時の腐食電位分布となると、ほとんどの範囲において  $-350\text{mV}$  よりも卑の値を示しており、ASTMのクライテリオン[6]では「90%より高い確率で腐食している」と誤判定されてしまう。

1点電位制御方式によるインピーダンス分布は、腐食部を谷とするなだらかなものであるが、短管絶縁時の分布と比べると大きく異なることが明確である。

これに対して、多点電位制御方式によるインピーダンス分布は、腐食部に鋭い谷を有する形態であり、局部腐食を蒙っている様子とよい相関が見られる。また、短管絶縁時の分布ともよい相関がみられており、腐食度の定量的評価が可能であることを示唆している。

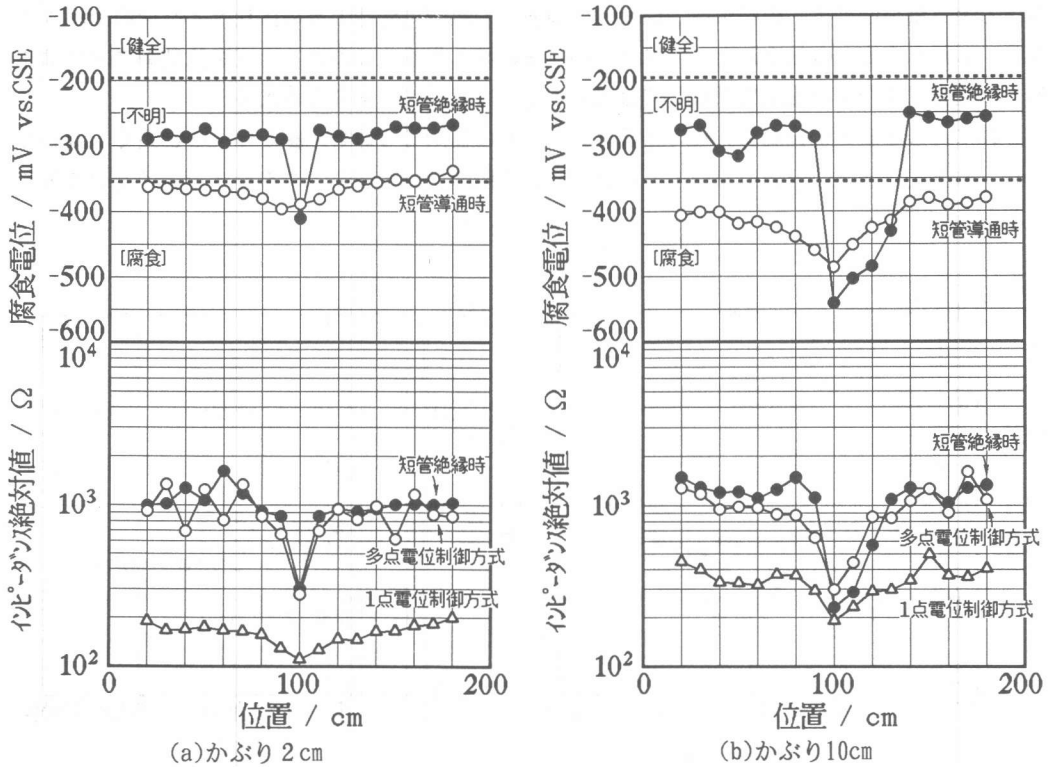


図-4 腐食電位、インピーダンス分布 ([ ] 内は、ASTMクライテリオンを示す)

## 5. 結言

多点電位制御方式による交流インピーダンス分布測定技術をかぶり2 cm、10 cmのコンクリート中配管に適用した結果、いずれの場合でも実際の腐食状態とよく対応するインピーダンス分布が得られた。また、得られたインピーダンスの値は、配管の特定範囲のものとよい相関が得られたことから、本方式が腐食度の定量的評価をおこなう技術として有効であることが明らかとなった。

## 参考文献

- 1) 後藤信宏・松岡和巳・伊藤 毅：交流インピーダンス法によるコンクリート中の鉄筋腐食モニタリング、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 12、No. 1、pp. 527-532、1990
- 2) 横田 優・浮田和明・幸 英昭：交流インピーダンス法によるコンクリート中の鉄筋腐食評価、土木工学における非破壊評価シンポジウム講演論文集、pp. 241-246、1991
- 3) 南 正信：塩害環境におけるコンクリート中の鉄筋の腐食診断システム、第91回腐食防食シンポジウム資料、pp. 22-29、1992. 9
- 4) Macdonald, D. D., et al: Determination of the Polarization Resistance of Rebar in Reinforced Concrete, Corrosion, Vol. 47, No. 5, pp. 330-335, May. 1991
- 5) 柴田 睦・梶山文夫：多点電位制御方式による交流インピーダンス分布測定技術の開発、第39回腐食防食討論会講演集、pp. 53-56、1992. 10
- 6) ASTM C876-91: Half-Cell Potential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete