Japan Concrete Institute

コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 17, No. 1 1995

論文 コンクリート構造物に内部挿入型電極方式を適用した場合の電極配置

田中健一郎*1・望月紀保*1・井川 一弘*1

要旨：コンクリート構造物中の鉄筋に対する電気防食法として、ピン状の電極をコンクリート中に分散する内部挿入型電極方式を検討した。電極の配置を決定する上で重要なパラメータである鉄筋のカソード分極特性を評価する方法として、対極と照合電極とから構成される可搬センサーを用いた方法が有効である。また、マクロセル鉄筋の腐食部近傍に電極を配置することによって、防食の均一性が確保されるとともに、より少量の防食電流（電極本数）で電気防食が可能であることを確認した。

キーワード：コンクリート、電気防食、分極曲線、電極配置、マクロセル

1．はじめに

コンクリート中の鉄筋の腐食問題に対して、電気防食法の適用が広く検討されている。電気防食法には種々の方式[1]が提案されているが、固相環境下という特殊な条件を考慮した場合、全体に平均して防食電流を供給することは勿論であるが、必要な所に必要なだけ防食電流を供給する選択防食的な取り扱いも可能であり、かつ施工上の容易さも兼ね備えている方式が必要である。

我々は、こうした要求を満足する方式として、ピン状の電極をコンクリート中に分散する内部挿入型電極方式を検討した。本方式はコンクリート表面にドリルで穴を空けるだけで電極の設置が可能という施工上の容易さと、選択的な重点防食が可能という利点を兼ね備えている。本方式においてこれらの利点を生かす上での最も注意すべき点は、効果的な防食を達成するための電極配置である。

本報告は、腐食部（アノード部）と非腐食部（カソード部）に分れた2層の鉄筋を持つ中規模試験体を用い、本方式を適用した場合必要とされる電極間隔、効果的電極配置等について、それぞれ各層単独及び短絡状態（マクロセル系）について検討したものである。

2．実験

2．1供試体及び供試電極

供試体は図－1に示すように、1700×1100×270mmの形状を持つ中型のもので、下面より10cmまで（下層）は、塩分含有コンクリート（NaCl量で15kg/m^3）が、その上部（上層）に無塩コンクリートが打設されている。コンクリートは腐食を生じやすい条件にするため、水セメント比を大きくした（W／C＝0.60）。鉄筋は、ϕ13mmの丸鋼を用い、上層部と下層部にそれぞれ格子状に配置されているが、下層部には予め海水中にて発錆させた丸鋼（以下下層鉄筋または腐食鉄筋と呼ぶ）、上層部には腐食のない黒皮付丸鋼（以下上層鉄筋または非腐食鉄筋と呼ぶ）を、それぞれ下面と上面よりかぶり厚さ2cmと5cmの位置に配置してある。なお、縦鉄筋（長手方向鉄筋）は、上層、下層とも200mm間隔で6本配筋されており、横鉄筋は、下層が400mm間隔で5本、上層が200mm間隔で9本配筋されている。また、各鉄筋交差部には、絶縁物を挿入し、鉄筋相互の導通は、各鉄筋より立ち上げたリード線間のｏｎ－ｏｆｆにより任意に設定できるようにした。電気防食

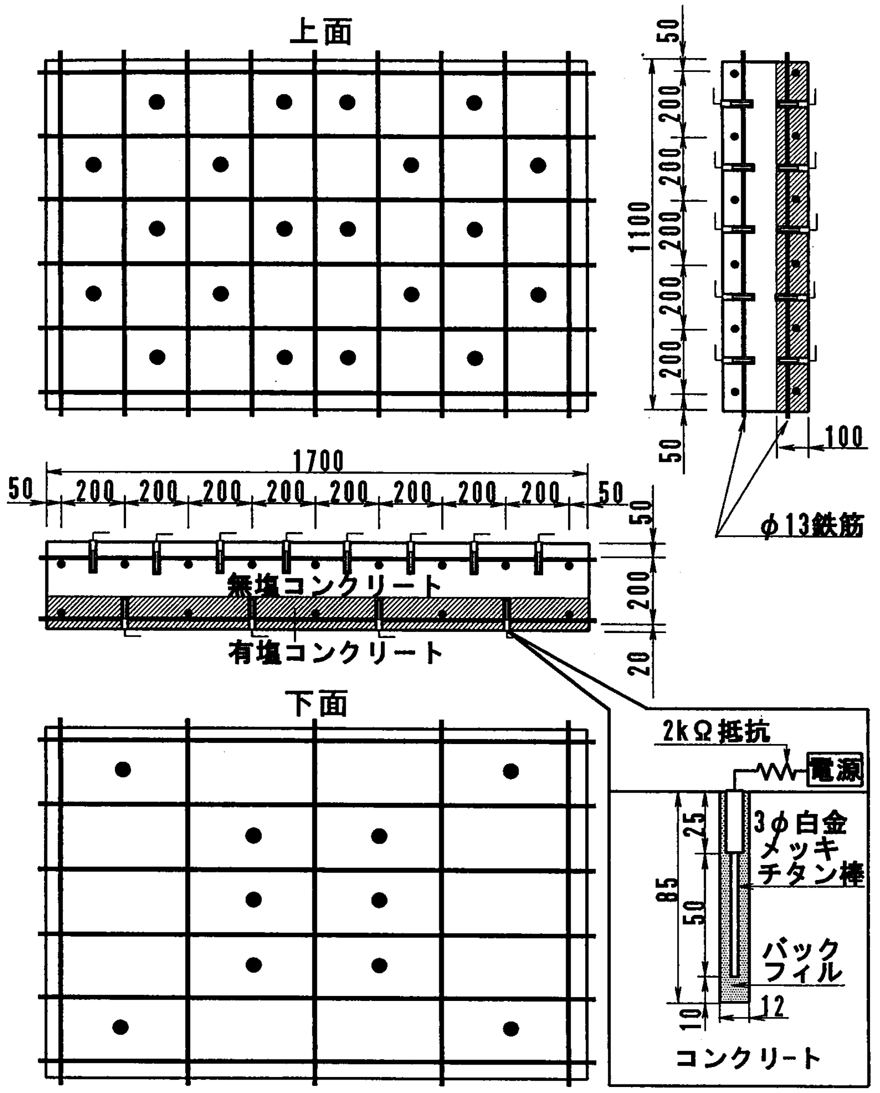
＊1（株）ナカボーテック開発研究部（正会員）

NII-Electronic Library Service

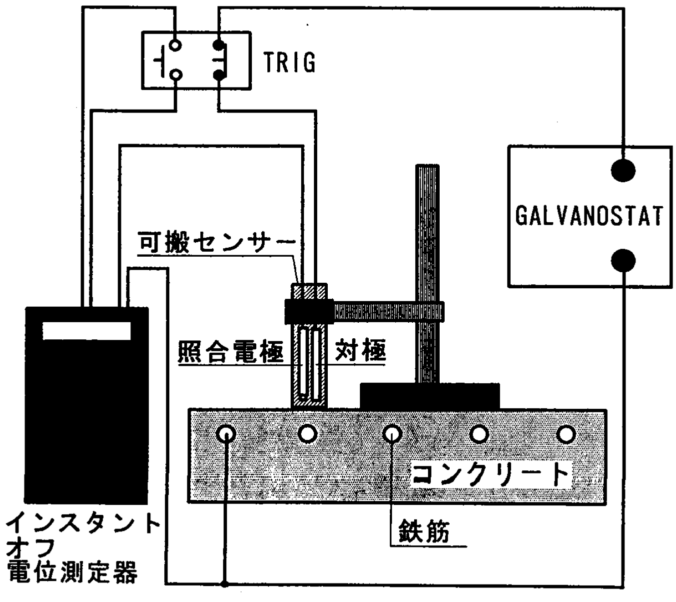
用内部挿入型電極（以下電極と呼ぶ）は、φ3mm×50mmの白金メッキチタン棒で、設置にはコンクリート表面にφ12mm×85mmの穴を開け、バックフィルを充填後、結線部上端までバックフィル中に挿入した。取り付け本数は、種々の組合わせによる通電形式を検討するため、上面に20本、下面に10本を系の対称性を考慮して配置した。また、各電極は2kΩの固定抵抗を介して電源に接続することにより電極相互の電流分布の均一化を図った。

2．2可搬センサー法による分極曲線の計測

電気防食を適用する上で対象物の分極特性を把握することは非常に重要である。広大な対象面積を持つ相手に対して事前に簡易な方法で分極特性を評価する方法として、以下に示す腐食診断での分極抵抗法を応用した手法（以下可搬センサー法と呼ぶ）を検討した。まず、対極と照合電極とから構成される可搬センサーを図－2に示すように鉄筋直上のコンクリート表面に設置し、定電流法により各種通電電流（I）によるインスタントオフ電位を計測し、Iと分極量（ΔE）の関係を求める。得られた（I，ΔE）の関係は腐食診断において用いられる単位面積当りの分極抵抗（Rc）の算出方



図－1　コンクリート供試体及び供試電極位置（●：電極挿入位置）

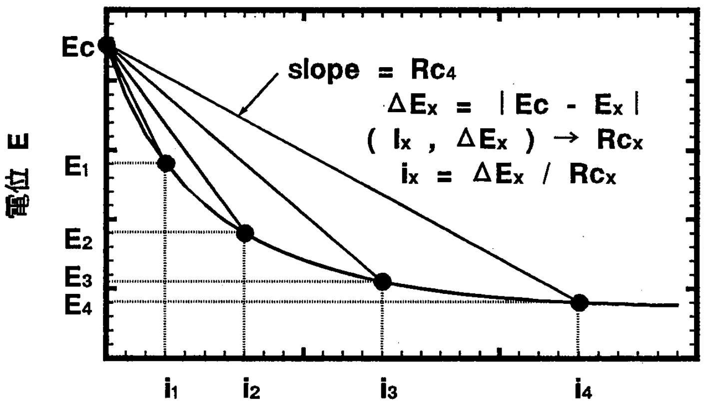


図－2　可搬センサー法による分極曲線測定装置

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

法[2]により、（ΔE, Rc）の関係に変換が可能である。Rcは分極が直線分極をしているとしたときの分極量と電流密度の比、即ち図－３に示す直線の傾きを表していることから、ΔE／Rcにより、ΔEと電流密度（ｉ）との関係が求まり、分極曲線が得られる。



図－３　可搬センサー法からの電流密度の算出

一方、可搬センサー法の妥当性を評価するために、対象物全体に均一な電流密度を供給する通常の分極曲線測定方法として、上層鉄筋、下層鉄筋の分極曲線の測定に、対極としてそれぞれ下層鉄筋、上層鉄筋を用いた測定方法（以下面電極法と呼ぶ）を適用し、可搬センサー法と比較した。また、分極曲線の計測に及ぼすマクロセルの影響を知るために、可搬センサー法により、上層鉄筋、下層鉄筋それぞれの単独の分極曲線とマクロセル系で計測される分極曲線とを計測し、相互の比較を行なった。

２．３内部挿入型電極方式における電気防食

内部挿入型電極方式による電気防食を適用した場合の電極配置について次のような検討を行なった。

①上層鉄筋単独、下層鉄筋単独での防食試験を、それぞれ試験体上部、下部より挿入した電極により行ない、非腐食鉄筋、腐食鉄筋に対する電極取り付け間隔を推定する。

②マクロセル系において、上部挿入型電極方式、下部挿入型電極方式による防食試験をそれぞれ行ない、防食達成のため必要とされる防食電流、分極量の均一性などについて両者の比較を行ない、効果的な防食を行なうための電極配置を考察する。

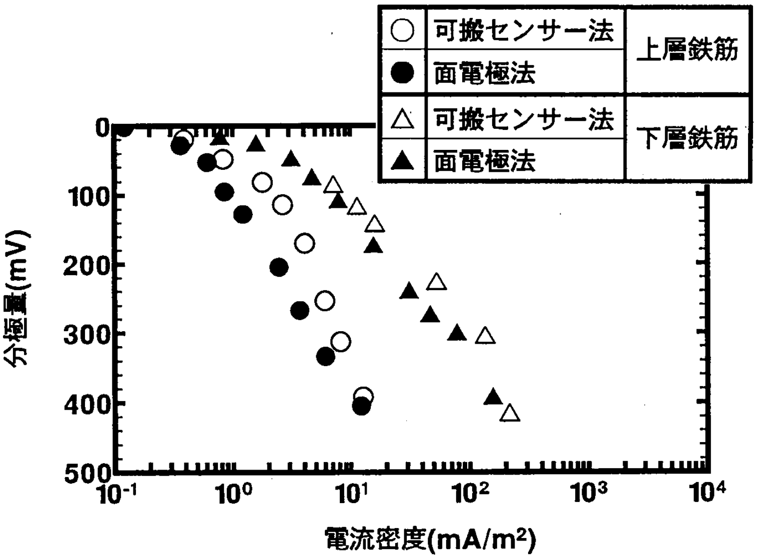
実験における通電方法は、1.25mA／本の定電流通電とし、各条件とも電極配置の対称性を考慮しながら通電電極を増加させ、通電２時間後の分極量が全て100mV以上を満足したところを防食条件とした。

３．実験結果及び考察

３．１可搬センサー法による分極曲線測定結果と計測に及ぼすマクロセルの影響

(1)可搬センサーによる分極曲線の測定

上層鉄筋、下層鉄筋に対し、可搬センサー法により測定されたそれぞれのカソード分極曲線を、面電極法による測定結果と対比し、図－４に示す。腐食状態にある下層鉄筋については、



図－４　可搬センサー法と面電極法による鉄筋の分極曲線

NII-Electronic Library Service

両者の測定結果はほぼ一致したものの、腐食が認められない上層鉄筋については、可搬センサー法は面電極法に比べ若干低分極傾向に計測された。しかしながら、可搬センサー法は、防食電流密度や電位分布等を考察する上で必要となる鉄筋分極特性の把握方法としては、安全サイド側の評価を与えており、簡易測定法としての便利さも考慮するならば、鉄筋分極特性を評価する上で妥当性のある手法と考えることができる。

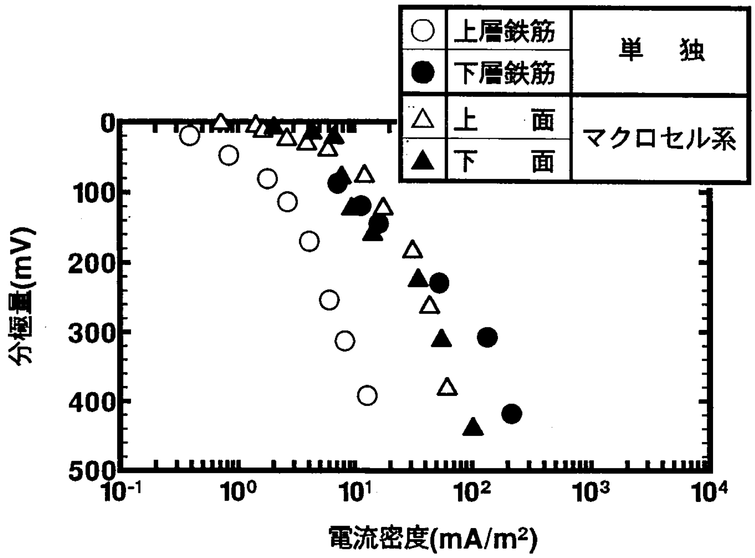
(2)分極特性の評価におよぼすマクロセルの影響

マクロセル系において測定された鉄筋カソード分極曲線を図－5に示す。本測定は、妥当性の確認された可搬センサー法により試験体上面と下面よりそれぞれ測定されたもので、比較として腐食鉄筋、非腐食鉄筋単独の測定結果も合せて記載した。マクロセル系で計測された分極特性は、測定面に依存することなく腐食鉄筋の分極特性に近似した挙動を示し、非腐食鉄筋の影響は、非腐食鉄筋の存在する上層面の測定においてもほとんど認められなかった。これは、実構造物における分極特性の計測では、分極抵抗の小さい（分極しにくい）腐食部の特性を評価する傾向が強いことを意味しており、本計測によって得られた特性値をもとに電気防食設計をしても何等悪影響を与えることはないと考えることができる。

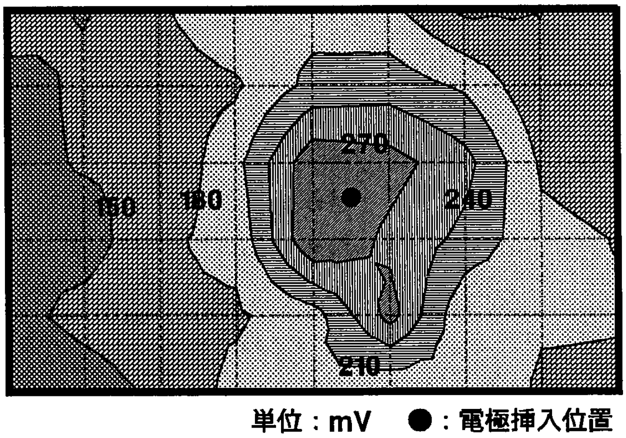
3．2内部挿入型電極法の電極配置

(1)内部挿入型電極法における電極取り付け間隔

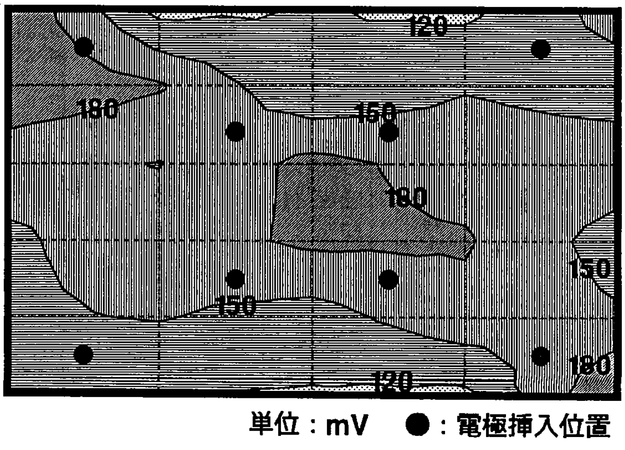
上層、下層それぞれの鉄筋に対し、内部挿入型電極法による電気防食を適用し、通電2時間後に防食条件（100mV分極）



図－5　マクロセル系における鉄筋の分極曲線
（可搬センサー法）



図－6　通電2時間後分極量等電位線
（上層鉄筋単独，電極1本，1.25mA）



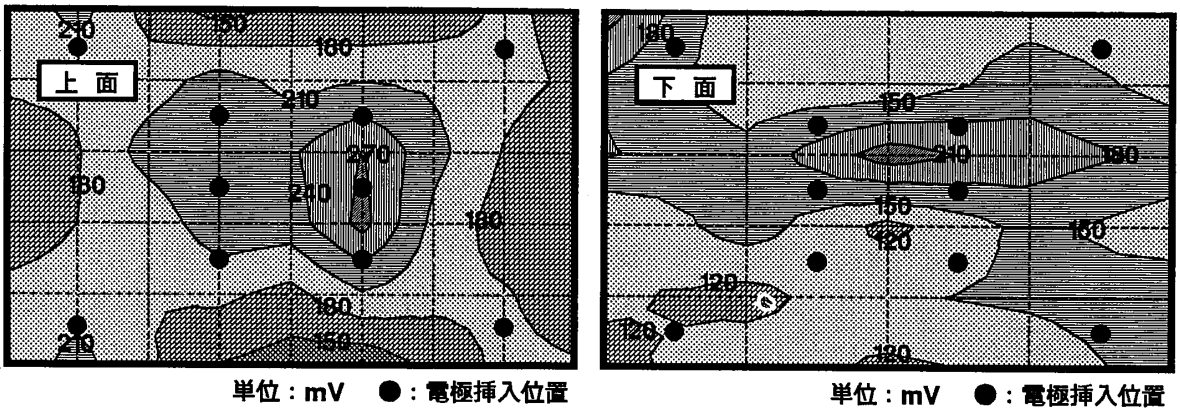
図－7　通電2時間後分極量等電位線
（下層鉄筋単独，電極8本，10mA）

NII-Electronic Library Service

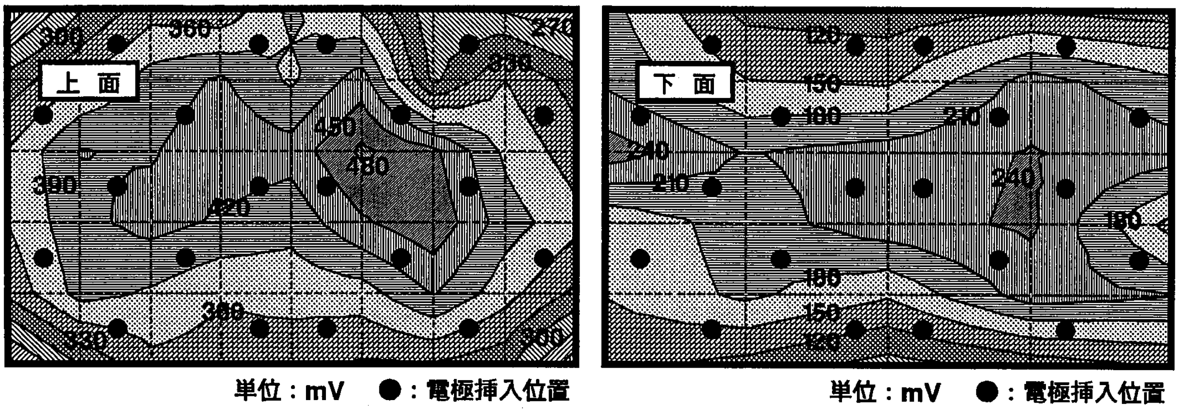
が達成されたときの分極量を示す等電位線を電極挿入位置と合せてそれぞれ図－６、図－７に示した。上層鉄筋の場合、一本の電極（1.25mA）で1.87m²の防食が可能であったのに対し、下層鉄筋においては、1.87m²当り8本の電極が必要であった。対象となるコンクリート表面積を通電電極本数で除すことにより電極一本当りの防食面積を求め、その平方根をとることによって、電極間隔を計算すると、上層鉄筋の場合1.37m、下層鉄筋の場合0.48mとなった。上述の結果より、本試験体における内部挿入型電極法による電極取り付け間隔の概算値を推定すると、非腐食部に対しては1m以上の値、腐食部においては、40cm前後の値になると思われる。

(2)内部挿入型電極法の電極配置に及ぼすマクロセルの影響

マクロセル系に対し、上部挿入型電極方式、下部挿入型電極方式により防食試験を行ない、全領域がほぼ防食条件に達したときの上面、下面における分極量等電位線を電極挿入位置と合せてそれぞれ図－８、図－９に示した。さらに、そのときの両方式の所要防食電流、電極挿入本数、分極量の均一性（最小分極量と最大分極量の比）を比較し、表－１にまとめた。表－１より明らかなように、上部挿入型電極方式においては、ほとんどの防食電流が、防食電流をあまり必要としない上層鉄筋に流れ込んでしまうため、下層鉄筋まで防食しようとすると、上層鉄筋を非常に大きく分極させる必要があり、結果的に大きい防食電流が必要となるばかりか、分極量の均一性も低下する。一方、下部挿入型電極方式においては、陽極が多くの防食電流を必要とする下層鉄



図－８　通電２時間後分極量等電位線
（マクロセル系,下部挿入型電極10本,12.5mA）



図－９　通電２時間後分極量等電位線
（マクロセル系,上部挿入型電極20本,25.0mA）

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

表－1　上部及び下部挿入型電極方式の比較

		上部挿入型電極	下部挿入型電極
流入電流(mA)	上層鉄筋	16.5	5.0
	下層鉄筋	8.5	7.5
	合計	25.0	12.5
電極本数		20	10
最小分極量／最大分極量		0.16	0.39

筋近傍に存在するため、防食電流の必要度に応じた分配がより可能となり、防食電流の有効利用が確保されることから、上部挿入型電極方式より少ない防食電流で防食が可能であった。即ち、マクロセル系に対する電気防食において、電極配置は電気防食の経済性と非常に密接な関係があり、Schsaschlら[3]によって示されたマクロアノード（腐食鉄筋）近傍に陽極配置することが、経済性、防食の均一性を確保する上で重要であることが確認された。

4．まとめ

本研究の結果、以下に示す結論を得た。

(1) コンクリート中の鉄筋のカソード分極特性を評価する方法として、可搬センサー法は有効である。

(2) マクロセル系において計測されるカソード分極特性は、マクロアノード部に近似した分極特性が計測される。

(3) 内部挿入型電極方式における電気防食設計上有効な陽極取り付け間隔は、腐食部において40cm前後、非腐食部において1m以上と推定される。ただし、本供試体と配筋状態の異なる他のコンクリート構造物の場合、この値は変化するものと考えらる。

(4) マクロセル系に内部挿入型電極方式を適用する場合、腐食部に陽極を配置することが経済的に有利である。

参考文献

[1] 例えば、堺孝司、峰松敏和、石川光男、千葉丈夫：積雪寒冷地におけるコンクリート構造物の電気防食、コンクリート構造物の補修工法と電気防食に関するシンポジウム論文報告集、pp151-158、1994

[2] 望月紀保、山田哲也、森川功、加納伸人、伊藤代志実：コンクリート中の鉄筋腐食評価方法について、コンクリート構造物の耐久性診断に関するシンポジウム論文集、pp97-102、1988

[3] E.Schsaschl,G.Marsh：Materials Performance,Vol.13,No.6,1974

NII-Electronic Library Service