

# RC 構造物の塩害防止に関する研究 (その 1)

—コンクリート表面塗装による鉄筋腐食抑制効果について—

喜田大三 守屋正裕  
住野正博

## Study on Prevention of Salt Damage in Reinforced Concrete (Part 1)

—Experimental Study on Effect of Preventing Corrosion  
of Reinforcing Bars by Coating on Concrete Surface—

Daizo Kita Masahiro Moriya  
Masahiro Sumino

### Abstract

Coating the surface of concrete is effective for preventing penetration of salts transported by sea breezes and for preventing carbonation. In case the concrete in an existing structure already contains salts to some degree, or when reinforcing bars have shifted to an active state due to carbonation, a corrosion inhibiting effect resulting from shutting out oxygen can be expected in addition to the abovementioned effects. It is thought that if supply of oxygen from the atmosphere to reinforcing bar surfaces can be greatly suppressed, the cathodic reaction at the reinforcing bar surface will be inhibited, and the rate of corrosion will be reduced. Therefore, various coatings were applied to reinforced concrete specimens and experimental studies were made by an electrochemical investigation method with the objective of ascertaining the effect of cutting off oxygen.

The results show that depending on the coating material, the supply of oxygen would be effectively prevented and the effect of inhibiting corrosion of the reinforcement can be expected.

### 概 要

臨海地に建つRC構造物の耐久性向上技術の一つとして、塩害防止策の確立が重要な課題となっている。この報文では、コンクリート表面塗装の酸素透過抑制効果による鉄筋腐食抑制効果の確認と塗材の性能比較を目的とし、電気化学的な方法で実験検討した結果を報告する。

実験では塗装による酸素の透過抑制効果に着目し、腐食のカソード反応に必要な酸素の供給速度を腐食電流値として検出する方法を考察して適用した。

実験の結果、塗材によって酸素の透過抑制効果に大きな違いが認められ、効果の大きい塗材で塗装すれば、カソード反応が抑えられ、腐食抑制効果が十分に期待でき、塩害対策として有効であると判明した。

### 1. はじめに

臨海地の RC 構造物において、潮風によって運ばれた海塩粒子がコンクリート中に浸透し、鉄筋の腐食を誘発するという現象が各地で大きな問題となり、その対策の確立が求められている。対策の一つとして、コンクリート表面を環境遮断性の高い塗材で塗装する方法が有効で

あると考えられ、鉄筋の腐食防止上、次に示すような効果が期待される。

- (1) 塩分の浸透抑制
- (2) 水分の浸透抑制
- (3) 空気(酸素)の透過抑制
- (4) 中性化の抑制

ところで、既設構造物で、鉄筋の腐食が誘発される十

分な量の塩分がすでにコンクリート中に浸透しているような場合、塗装の効果としては上記のうち、酸素の透過抑制すなわち鉄筋面への酸素の供給抑制によるカソード反応の抑制効果に注目される。

そこで、塗装による酸素の透過抑制効果が、鉄筋の腐食抑制にどの程度有効であるかを確認するために、各種塗材を用いて電気化学的な方法で実験検討した。

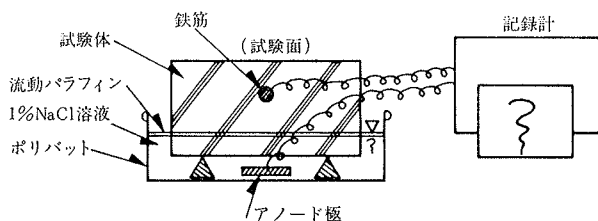
## 2. 実験法

腐食反応は、酸化反応（アノード反応）と還元反応（カソード反応）から成り、腐食過程ではこの両反応が等速度で進行する。

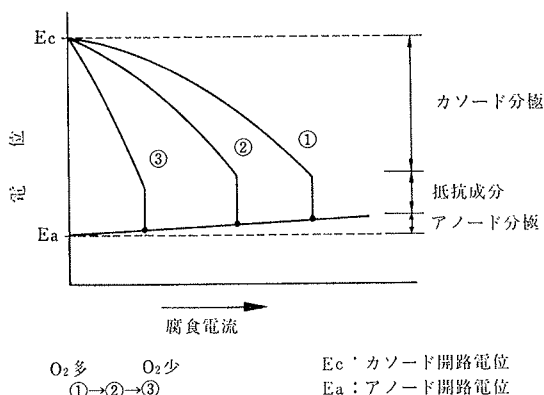
コンクリート中の鉄筋が腐食する場合には、コンクリートの中性化や塩化物の介在によってアノード反応が起こり得る条件が成立し、一方、カソード反応は、大気中からコンクリートを通して供給される酸素の還元が主反応になる。従って、コンクリート表面の塗装で、鉄筋表面への酸素の供給が抑制されれば、カソード反応が抑制され、腐食速度が低下する。

そこで、鉄筋を埋込んだコンクリート試験体を使って、鉄筋表面への酸素の拡散供給によって生ずるカソード反応を、次のように電流量として検出し、その反応速度を求めた。

図一に示す装置により、分極を抑えた活性なアノード極（鋼板）と試験体コンクリート中の鉄筋との間で、鉄筋全体がカソード極として働くようにマクロセルを形成させ、発生電流を連続測定した。



図一 実験装置



図二 分極モデル

鉄筋はコンクリートのアルカリ雰囲気では不働態化しており、一方のアノード極は、塩化ナトリウム液中で活性化状態にあるので、両極間の開路電位差はおよそ 400 mV 程度となり、実際に鉄筋が腐食する場合の腐食電池と類似した条件となる。

測定される電流は、この系の腐食電流であり、アノードの分極を小さく抑えるように条件を設定しているため、鉄筋表面で起こるカソード反応の最大速度を示している。従って、カソード反応で消費される酸素が鉄筋表面に供給されやすいほど発生電流は大きくなる。

分極モデルで示すと図一2のようである。

## 3. 実験パラメーター

次の条件をパラメーターとした。

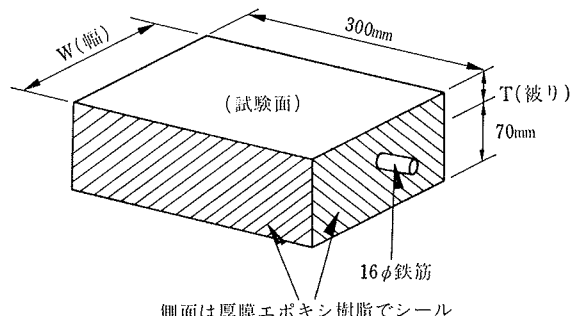
- (1) コンクリートの水セメント比……50, 60%
- (2) 試験面の大きさ……300×幅100, 150, 200 mm
- (3) 被り厚さ……20, 40, 60 mm
- (4) 塗装の有無
- (5) 塗材の種類……5種類

## 4. 試験体

- (1) 形状と記号

記号	W (mm)	T (mm)	W/C (%)
10-4-5	100	40	50
10-4-6	100	40	60
15-4-5	150	40	50
15-4-6	150	40	60
20-4-5	200	40	50
20-4-6	200	40	60
20-2-5	200	20	50
20-2-6	200	20	60
20-6-5	200	60	50
20-6-6	200	60	60

表一 試験体の形状と記号



図三 試験体形状

W/C (%)	S/a (%)	水 (kg)	セメント (kg)	砂 (kg)	砂利 (kg)	AE 剤 (kg)
50	46.2	149	298	856	1,002	0.745
60	47.8	149	249	899	1,002	0.623

(スランプ10cm, 空気量4%)

表—2 コンクリート調合

(2) コンクリートの材料と調合

セメント：フライアッシュセメント B 種

AE 減水剤：ポゾリス No. 70

砂 利：20 mm 砕石（青梅産硬質砂岩）

比重；2.62 吸水率；0.17%

砂：木更津産山砂

比重；2.61 吸水率；1.81%

調 合：表—2 に示す。

(3) 鉄筋

JIS G 3123 のみがき棒鋼 16 φ, 600番研磨仕上げ

(4) 塗材

記号	種 類	備 考
N	厚膜型エポキシ樹脂	プライマー+主材(1,000~2,000 $\mu$ m)
D	浸透型アクリル樹脂	十分浸透するように塗付
S	ポリウレタン樹脂	Dの上に塗装(200 $\mu$ m)
U	ウレタンゴム系伸長形複層	プライマー+主材+仕上材(1,000~1,200 $\mu$ m)
A	アクリルゴム系伸長形複層	プライマー+主材+仕上材(1,000~1,200 $\mu$ m)

表—3 供試塗材の種類一覧

(5) 養生

コンクリート打設2日後に脱型し、4週間以上、気中養生(20℃, 60%)を行ない、その後供試塗材を塗装した。塗装後の養生は室内で1週間以上とした。

5. 実験結果と検討

実験状況を写真—1 に示す。測定開始直後から電流値が落ち着くまでの経時変化を図—4~10に示した。図—4を除いては、同一条件の試験体で3連で測定し、その平均値を作図した。

これらの結果から明らかとなった点および検討結果を以下に列記する。

5.1. 予備実験の結果

適用した実験法の有効性を確認するために、実験に先立って同様のモデルで電流測定を行なった。その結果の一例を図—4 に示している。

無塗装で測定を開始し、電流値が安定したところでアノードの面積を2倍に変えたが電流値は変化なく、ねらどいカソード支配となっているのが確認された。

その後、測定を継続した状態で試験体の上面(試験面)をパラフィンでコーティングしたところ、電流値は次第



写真—1 実験状況

に減少し、微小値で安定した。すなわち、パラフィンコーティングによる酸素の透過抑制効果が腐食電流値の変化としてとらえられている。

5.2. 電流変化のパターン

塗装の有無にかかわらず、測定開始後しばらくの間はコンクリートの空隙にある酸素が消費されるので、大きい電流値を示している。その後、電流値が次第に減少して酸素の透過量がバランスして電流値が安定化するというパターンが見られる。

酸素透過抑制効果の大きい塗材についてのデータでは、最終的に電流値がゼロ付近まで低下しており、その間の電流の累積値が試験体空隙中の酸素量に対応すると考えられる。

5.3. 被り厚の影響

無塗装試験体で、被り厚と電流値との関連をみると、図—5 から、傾向的には被りが大きいほど電流値が小さく、被り厚の大小が酸素透過性に影響していることが確認できた。しかし、その差は予想したよりも少なく、今後さらに検討すべきと考える。

一方、塗装試験体においては、塗材による酸素透過抑制が大きいために、被り厚の影響は認められなかった。

5.4. 水セメント比の影響

図—6 に示したように、無塗装の試験体において、W/C の大きいほうが電流値が大きく、W/C の違いによるコンクリートの空隙状態の相違が酸素透過性に影響していると考えられる。

塗装試験体については、上述の被り厚と同じで特に影響は認められなかった。

5.5. 試験体サイズの影響

図示しないが、無塗装の試験体では、幅(W) が大きいほど電流値が大きく、また塗装試験体では図—8 のように電流値が安定するまでの時間に差が現われ、W が大きいほど安定化までに時間がかかった。これは、W の違いによって酸素の透過する表面積および内部空隙の量が変わるためと理解できる。

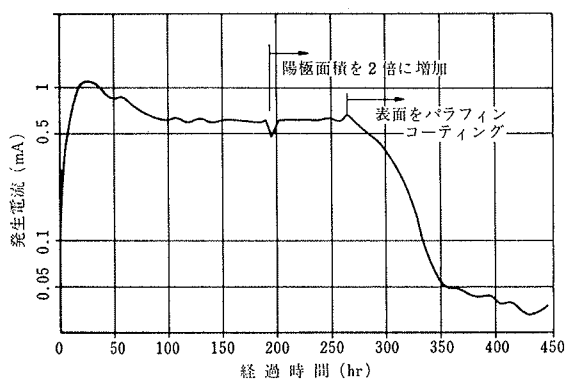


図-4 予備実験結果

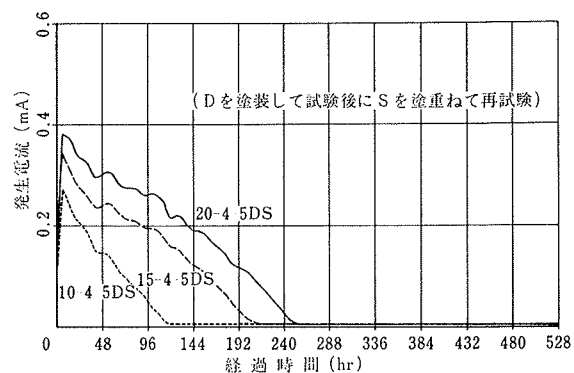


図-8 塗膜の効果 (塗材 D+S)

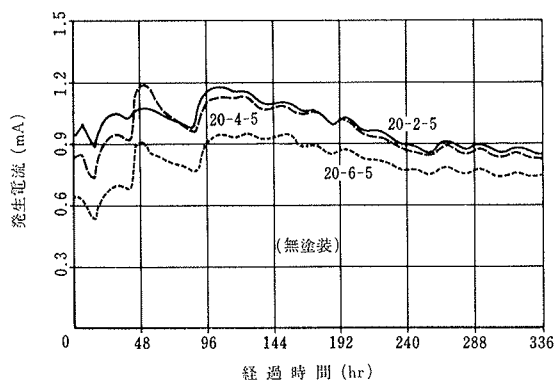


図-5 被り厚の影響

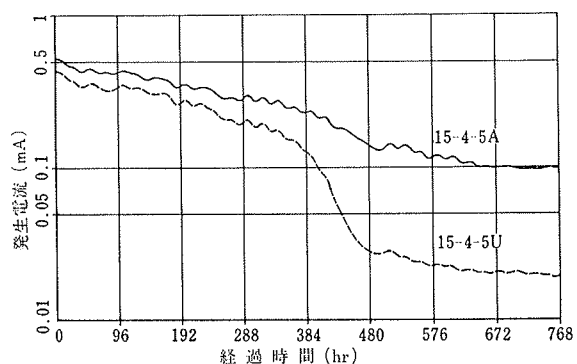


図-9 塗膜の効果 (塗材 A, U)

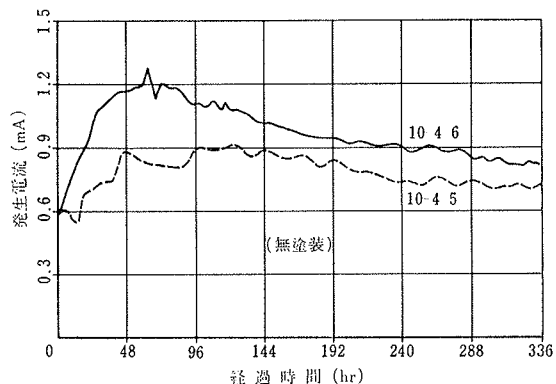


図-6 水セメント比の影響

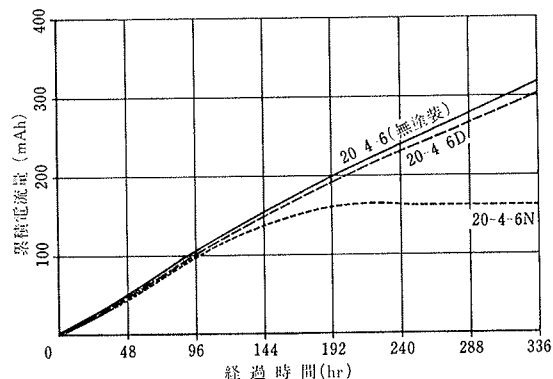


図-10 累積電流量の一例

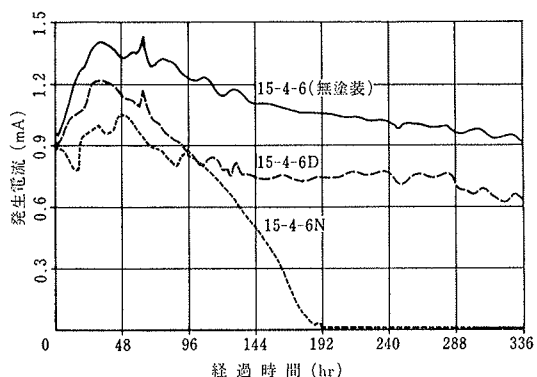


図-7 塗膜の効果 (塗材 D, N)

塗 装	平衡電流 μA	電流量の 比率	酸素透過率 Nml/cm <sup>2</sup> ・年
な し	800	1	3.18
N	<2	<0.0025	<8×10 <sup>-3</sup>
D	600	0.75	2.44
D+S	<2	<0.0025	<8×10 <sup>-3</sup>
U	20	0.025	8×10 <sup>-2</sup>
A	100	0.13	4×10 <sup>-1</sup>

表-4 塗材の性能比較

## 5.6. 塗材の効果

図—7～10から明らかなように、無塗装試験体との比較で、塗装の効果は顕著であり、塗材の種類による効果の違いも明瞭である。電流が安定した状態での値（平衡電流）を讀取って比較すると表—4のようである。同表には、平衡電流量をもとに求めた酸素の透過率も併記した。

表—4から明らかなように、最も効果の高い塗装系はNおよびD+Sで、弾性タイプのAおよびUも良好である。AとUの比較では、Uの方が効果が高い。Aは主材がエマルジョンタイプで、Uは二成分系の反応硬化型であり、その違いが効果の差異に影響している可能性が大きい。

Dは、単独ではほとんど効果がなく、Sを塗重ねたところ著しい効果を示した。

## 6. まとめ

臨海地に建つRC構造物の効果的な塩害防止対策の確立を目的として、コンクリート表面の塗装による鉄筋の腐食抑制効果と各種塗材の性能を、電気化学的な実験法で確認した。

実験では、鉄筋が腐食する際のカソード反応に必要な酸素の供給速度に着目し、それを腐食電流として検出する方法で、塗装による酸素の透過抑制効果を検討した。

実験の結果、塗材を適切に選定すれば、酸素の供給抑制による腐食抑制効果が十分に得られることが確認された。供試した塗材の中では、コンクリートのクラックへの追従性も考慮すると、ウレタンゴム系およびアクリルゴム系の複層塗材が良好な性能を有し、実用的であると判断した。この二種類の塗材は、別途に行なわれた耐久性などに関する諸試験においても良好な性能を有することが判明している。

今回適用した実験法は、コンクリートに供試塗材を塗付した状態で試験でき、試験面積も大きいなど、従来の単離塗膜によるガス透過試験よりも実際的な条件に近く、効果的であると思われる。

## おわりに

ここに報告した内容は、某電力会社殿のご要請による受託研究として行なったものである。試験体の製作に当たっては、建築第二研究室（中根淳室長、永井康淑主任研究員）の多大なご協力をいただいた。

## 参考文献

- 1) 喜田, 守屋: 土木建築における腐食に関する研究 (その4), 大林組技術研究所報, No. 17, (1978), pp. 111～116