

# 104. 塗布工法によるコンクリート用無機系防錆剤の防錆効果

熊本大学 村上 聖  
 大分大学 平居 孝之  
 大分構造・保全計画事務所 甲斐 武久

## 1. 目的

コンクリートに含まれる塩分のため、鉄筋の腐食が進行しつつある鉄筋コンクリート構造物では、何らかの方法で鉄筋の腐食を抑制し、鉄筋の断面減少やコンクリートとの付着力低下によって構造強度がさらに低下することを防がねばならない。塩分による鉄筋の錆びの問題が表面化した鉄筋コンクリートの建設物は多々あり、これらの建設物をすべて建て直すわけにもいかず、構造強度に不安を抱きながら使用せざるを得ない状態である。このため建設当初の構造強度を回復できないまでも、少なくとも現在保持している性能を維持できるような工法を開発することが望まれる。

鉄筋コンクリートの場合に、塩分による鉄筋の腐食を抑制する一つの方法として、防錆剤をコンクリートの表面に塗布して内部に浸透させる工法がある。この工法により鉄筋の腐食を抑制するには、鉄筋の位置までコンクリート中を浸透した防錆剤が、進行しつつある鉄筋の腐食を抑制するのに必要なだけの濃度を保たねばならない。ここでは、コンクリートに浸透させた防錆剤に必要なとされる濃度について、試験を行って検討する。

## 2. 方法

### 2.1 材料

表1に示す材料を用いた。防錆剤はコンクリートに対する浸透性の良好な市販品を使用した。亜硝酸カルシウムを主成分とする0社製品である。

### 2.2 試験

表2に示すように一定の割合で成分が含まれており、その濃度は塩素イオンの量が同じになるときのNaClの濃度に換算して、3.3, 1.65, 0.83, 0.61, 0.41, 0.31%である6種類の溶液を用いた。ここではこれらの溶液を腐食溶液と呼ぶ。表2の腐食溶液の成分の割合は、JISA 6205鉄筋コンクリート用防せい剤に示される塩分溶液の成分の割合と同じである。

JISA 6205鉄筋コンクリート用防せい剤の中の鉄筋の塩水浸漬試験方法に準じて、図1に示す試験装置を使った。先端を半球状に削り全体の表面を研磨紙でみがきアセトンで脱脂した鉄筋を、それぞれの濃度の腐食溶液の中に差し込み、自然電極電位の変化を測定しながらそのままの状態で3日間置き、鉄筋に腐食が進行しつつある状態を用意した。この状態で腐食溶液に防錆剤を微量量ずつ滴下しながら自然電極電位を測定し、自然電極電位

表1 材料

防錆剤	亜硝酸カルシウムを主成分とする市販品
塩化ナトリウム、塩化マグネシウム、硫酸ナトリウム、塩化カルシウム、塩化カリウム、鉄筋、比較電極、水	JISA 6205鉄筋コンクリート用防錆剤の附属書1による

表2 腐食溶液の成分

成分	割合
塩化ナトリウム (NaCl)	100
塩化マグネシウム (MgCl <sub>2</sub> ・6H <sub>2</sub> O)	45
硫酸ナトリウム (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	17
塩化カルシウム (CaCl <sub>2</sub> )	5
塩化カリウム (KCl)	3

図1 試験装置の概要

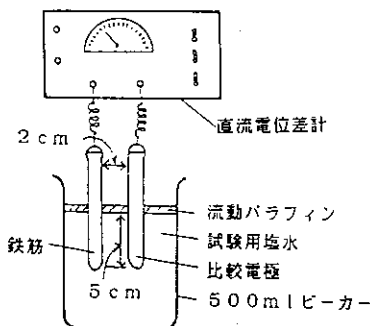


図2 鉄筋の腐食抑制に必要な量の防錆剤を一度に加えた場合

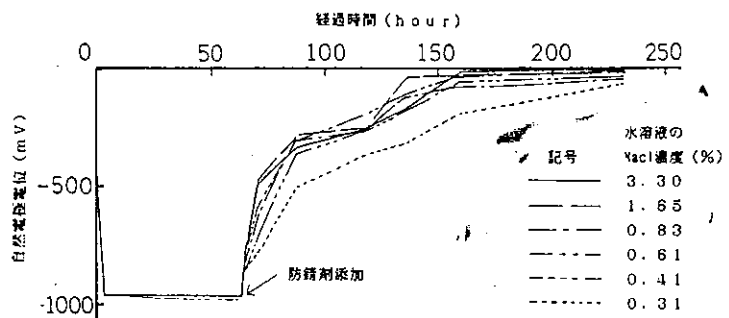


図3 鉄筋の腐食抑制に必要な量の半分の量の防錆剤を一度に加えた場合

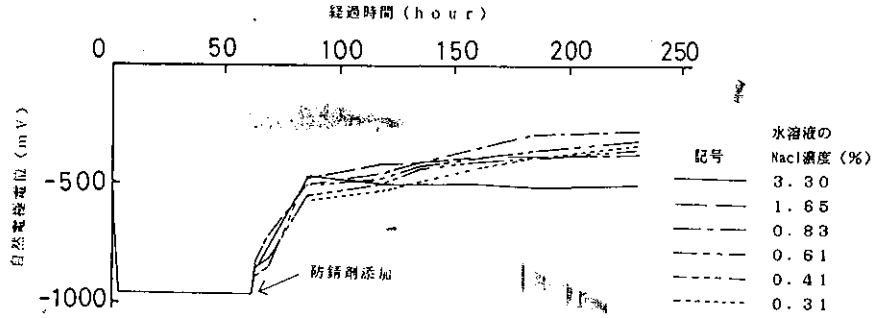


表4

混練水中のNaClの濃度% [A]	[A]を塩素イオンの量(gr)に換算すると[B]	[B]を珪骨材のNaClの含有率%に換算すると	鉄筋の腐食抑制に必要なNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> イオンの濃度%
3.30	3605	0.74	0.031
1.65	1800	0.37	0.026
0.83	905	0.19	0.021
0.61	665	0.14	0.018
0.41	450	0.09	0.013
0.31	340	0.07	0.010

表3

腐食溶液のNaCl換算濃度 (%)	防錆剤をNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> イオンに換算した濃度 (%)
3.30	0.39
1.65	0.33
0.83	0.27
0.61	0.23
0.41	0.17
0.31	0.13

が卑から貴の方向に向かって変化した後自然電極電位が変化しなくなったとき滴下を中断した。その後自然電極電位の測定を続け、2~3日経過しても自然電極電位が再び卑の方向に向かっていなければ、それまでに滴下した防錆剤の量を鉄筋の腐食を抑制するのに必要な量とした。次に、鉄筋の腐食が抑制されることを確認するため、前述の腐食溶液の中に3日間置いて鉄筋に腐食が進行している状態のときに、先に求められた必要量および必要量の半分の量の防錆剤を腐食溶液に一度に加え、以後7日間自然電極電位の変化を測定した。

### 3. 結果と考察

図2は鉄筋の腐食抑制に必要な量の防錆剤を一度に加えたときの自然電極電位の測定結果である。いずれの濃度の腐食溶液においても、防錆剤を加える前は-1000mV弱の自然電極電位で腐食が進行し、腐食溶液に浸かっている部分の鉄筋は全表面に顕著に錆びが生じる。防錆剤を加えると自然電極電位はすみやかに卑から貴の方向

に変化し、さらに時間の経過につれて自然電極電位が0に近い値となって安定する。このように、必要量の防錆剤を加えることにより、腐食溶液中で進行しつつあった鉄筋の腐食は止まる。

図3は鉄筋の腐食抑制に必要な量の半分の量の防錆剤を一度に加えたときの自然電極電位の測定結果である。防錆剤を加えると電位は卑から貴の方向に変化し、その後時間の経過につれて自然電極電位が-500mV前後の値で若干変化する。塩分濃度の一番高い腐食溶液の場合は、時間の経過につれて自然電極電位が貴から卑へわずかに変化しているが、その他の塩分濃度の腐食溶液の場合は、いずれも自然電極電位の変化は卑から貴の方向である。このように防錆剤の量が少なくても、鉄筋の腐食の進行はかなり抑えられていると考えられる。

表3は6種類の濃度の腐食溶液に対して、鉄筋の腐食の進行を抑制するのに必要な防錆剤の量を、亜硝酸イオンNO<sub>2</sub><sup>-</sup>の量に換算して表したものである。塩分濃度が増加すると腐食抑制に必要な亜硝酸イオンNO<sub>2</sub><sup>-</sup>の量は増加する傾向にあるが、塩分の濃度が高くなるほど、塩分の濃度に対して亜硝酸イオンNO<sub>2</sub><sup>-</sup>の必要量が増加する割合は少ない。

表4は表3の試験結果にもとづいて、コンクリートに含まれる塩分の濃度に対応して必要になる亜硝酸イオンNO<sub>2</sub><sup>-</sup>の量を求めたものである。腐食溶液で試験したときの鉄筋の腐食の進行を抑制するのに必要な亜硝酸イオンNO<sub>2</sub><sup>-</sup>の量で、中性化したコンクリート中の鉄筋の腐食を抑制できることを前提にしている。試験で用いた6種類の濃度の塩分を含む混練水を使ったコンクリートで

図 4

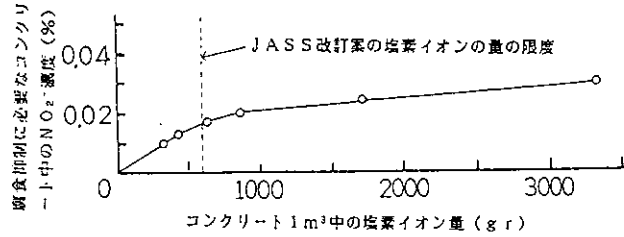
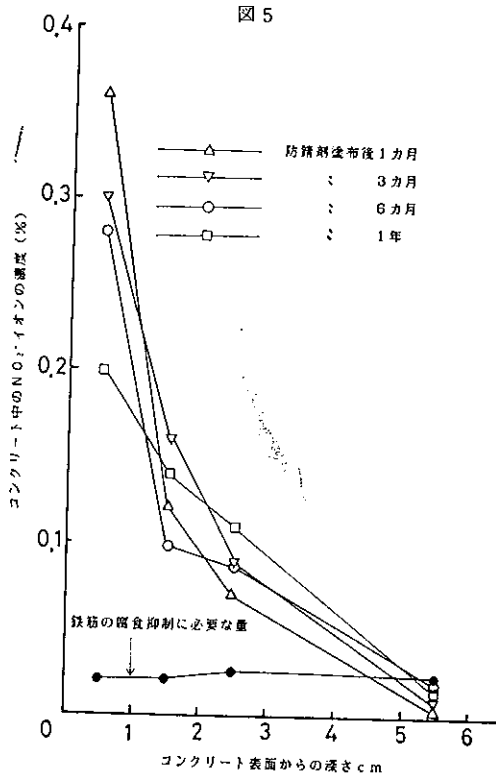


表 5

コンクリート中の塩素イオンの重 (gr/m³)	コンクリートの表面からの深さ cm			
	0~1	1~2	2~3	5~6
コンクリート中の塩素イオンの重 (gr/m³)	824	824	1689	1075
鉄筋の腐食抑制に必要な NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> イオンの濃度%	0.020	0.020	0.025	0.022



想定し、コンクリート 1 m<sup>3</sup>に含まれる塩素イオンの量、同じ量の塩分が細骨材に含まれている場合の細骨材の塩分含有率、内部の鉄筋の腐食を抑制するために必要なコンクリートに含有すべき亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>の濃度を求めたものである。

図 4 はコンクリート 1 m<sup>3</sup>に含まれる塩素イオンの量と、鉄筋の腐食の進行を抑制するために必要なコンクリートに含有すべき亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>の濃度との関係である。JASS 改訂案に示れる防錆剤使用時の塩素イオン

量の限度である 600gr/m<sup>3</sup>の塩素イオンが含まれるコンクリートにおいて、鉄筋の腐食を抑制するのに必要な防錆剤の量は亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>の濃度で 0.017% 程度である。

塩分による鉄筋の腐食が問題になっている鉄筋コンクリート構造物では、コンクリートの塩分含有率はかなり高い場合が多く、前述の JASS 改訂案の塩素イオン量の限度の数倍の塩分を含んだ状態で、鉄筋の腐食の進行を抑制することを考えなくてはならない。この場合に鉄筋の腐食の抑制に必要な防錆剤の量は、図 4 から亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>の濃度で 0.02~0.04% 前後となる。

コンクリートの表面にこの防錆剤を塗布して内部に浸透させる試験によれば、適切な施工方法によって塗布された防錆剤は施工後短期間でコンクリート中によく浸透していき、コンクリートの表面からかなりの深さまで、亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>の濃度が大きくなるのが分かっており、防錆剤をコンクリートの表面に塗布して内部に浸透させる工法により、鉄筋の腐食の進行を抑制することが期待できる。表 5 と図 5 はこのことを、建設後 13 年を経過した鉄筋コンクリートの外壁面を利用してケーススタディしたものである。

表 5 は、ケーススタディの対象となった外壁面からコンクリートのコアを抜き、表面からの深さごとに試料を採取して分析したコンクリート中の塩素イオンの量と、それに対応して図 4 から求めた鉄筋の腐食を抑制するのに必要な亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>の濃度である。

図 5 は、ケーススタディの対象となった外壁面に塗布工法で防錆剤を施工し、コンクリートの内部に浸透した防錆剤の濃度を亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>の濃度で表したものである。コンクリートの表面からの深さを横軸として、材令 1 カ月、3 カ月、6 カ月、1 年ごとに経時的に示している。図 5 には、表 5 で求めた鉄筋の腐食抑制に必要な亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>濃度を黒丸で示しており、塗布工法でコンクリートの内部に浸透させた防錆剤の濃度がこの黒丸より高いときに、鉄筋の腐食を抑制できるという

わけである。図5を見ると、コンクリートの表面から3 cm 程度の深さまでは、塗布工法で浸透した防錆剤の濃度は、鉄筋の腐食を抑制するのに必要とされる濃度よりかなり高く、鉄筋の腐食抑制の効果が十分期待できる。コンクリートの表面から5～6 cm の深さでは、防錆剤を表面に塗布してからの時間の経過と共に、徐々に防錆剤の濃度が大きくなっていき、防錆剤の塗布後半年から1年になると鉄筋の腐食抑制に必要な量に近づいている。

#### 4. ま と め

塩分濃度の異なる腐食溶液の中で鉄筋の腐食が進行しつつあるとき、鉄筋の腐食を抑制するのに必要な防錆剤の量は、塩分濃度が増加するほど多くなるが、塩分濃度が高くなると、塩分濃度が増加してもそれほど増加しない。

鉄筋の腐食の進行を抑制するのに必要な防錆剤の量は、コンクリート中の亜硝酸イオン  $\text{NO}_2^-$  の濃度で表し

て、コンクリートに含まれる塩素イオンの量が  $600\text{gr}/\text{m}^3$  のとき  $0.017\%$  であり、塩素イオンの量が  $1000\text{gr}/\text{m}^3 \sim 3000\text{gr}/\text{m}^3$  の範囲では、 $0.02 \sim 0.025\%$  であると考えられた。

既設の鉄筋コンクリートの壁面を利用したケーススタディによると、 $1000\text{gr}/\text{m}^3$  前後の塩素イオンが含まれているコンクリートの場合に、鉄筋の腐食を抑制するのに必要な防錆剤の量は、亜硝酸イオン  $\text{NO}_2^-$  の濃度で  $0.02 \sim 0.025\%$  になる。実際に適切な工法でコンクリートの表面に防錆剤を塗布した結果、内部に浸透した防錆剤の量は鉄筋の腐食の進行を抑制できる量であると考えられた。

#### 文 献

- 1) 岸谷孝一，鉄筋コンクリート構造物における鉄筋の腐食について，コンクリートジャーナル p.1～16, 1974年2月
- 2) 小林一雄，防せい剤，コンクリート工学 p.38～40, 1978年3月