

腐食促進実験による各鉄筋防錆方法の効果について

The effectiveness of varied corrosion inhibitors for a steel bar applied to accelerated salt attack

寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○正員 清野昌貴 (Masaki Seino)
 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 正員 水田真紀 (Maki Mizuta)
 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 正員 内藤 勲 (Isao Naito)
 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 正員 島多昭典 (Akinori Shimata)

1. はじめに

海岸部や積雪寒冷地の鉄筋コンクリート構造物では、海水飛沫や凍結防止剤の影響と思われる塩害により、腐食した鉄筋が局部的に露出する現象が多々見られるようになってきた(写真-1)。鉄筋の腐食が進行すると、場合によっては構造物の耐荷力が低下する。このため、塩害による劣化の対策として、塩分を含んだコンクリートをはつり、鉄筋の錆部を除去し鉄筋防錆剤を塗布して断面修復を行う補修法が古くから用いられているが、近年では犠牲陽極の設置や塩分吸着剤を用いた上で断面修復する新しい工法なども提案、施工されている。しかしながら、その防錆効果を評価する統一的な方法はない。本研究では、飛沫塩分や凍結防止剤の影響を念頭に置き、数種の鉄筋防錆方法を施した鉄筋において塩水での乾湿繰り返し条件で比較し、腐食の進行状況を把握することで防錆効果について検討する基礎実験を行った。

2. 実験方法と検討ケース

実験を行うための試験体(鉄筋)は、長さ1本30cmの丸鋼 R16 (SR235) とし、実験開始前に黒皮を濃度10%のクエン酸二アンモニウム水溶液を用いて除去した。図-1 に示すように、プラスチックケースに塩水(NaCl濃度約3%)を25cmまで浸し¹⁾、図-2のように両端5cmをブチルゴムとビニールテープで保護して、中間部20cmに防錆処理を施した鉄筋と無処理の鉄筋9本を表-1に示す検討ケースごとに塩水の中に入れ、40℃の室内に3日間保管、その後水から出し、室内温度20℃、湿度70%以下の室内で4日間保管²⁾、これを1サイクルとして実験を行った。なお、ケース上部はなるべく水分が蒸発しないように蓋をした。1サイクルごとに腐食状況を確認、写真撮影し、実験開始後8サイクル、16サイクル、24サイクルに9本中3本ずつ腐食面積率(試験部における錆発生部面積÷試験部全体面積)の測定を行い、その後、錆を除去して鉄筋の質量を測定した。すなわち、各ケースにおいて8サイクル毎の測定で3本ずつ減り、24サイクルでの測定時は3本となる。

検討ケース1は防錆処理しない無処理の鉄筋、ケース2は亜硝酸リチウムが内在するペースト状のものを塗布したもの、ケース3は亜硝酸イオンが内在する塩分吸着剤入りの材料を塗布したものとし、ペースト状のみの塗布とその上に断面修復を行うことをイメージしたモルタルを塗布した2種類、ケース4は鉄筋に犠牲陽極材を設置したものとし、表-1に示す5ケースで比較した。



写真-1 海岸部道路橋の鉄筋露出状況

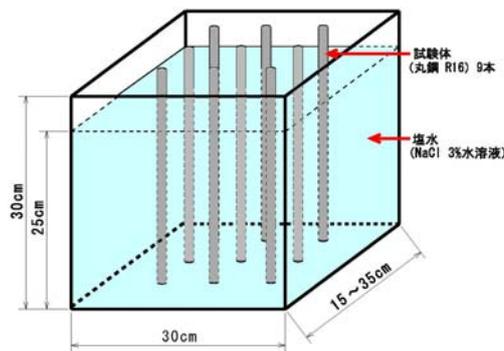


図-1 鉄筋浸漬状況略図

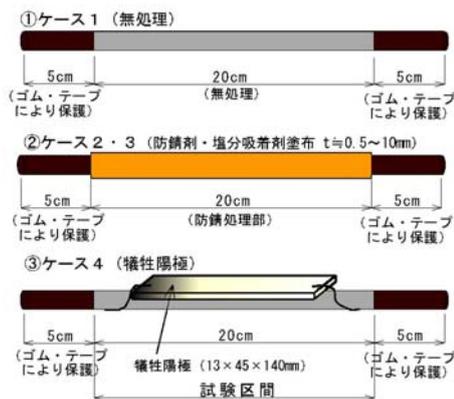


図-2 防錆処理略図

表-1 検討ケース

| 検討ケース | 防錆処理種類 | 防錆処理主成分 | 塗布量 |
|-------|--------|---------|-----------------------|
| 1 | 無処理 | - | - |
| 2 | 防錆剤 | 亜硝酸リチウム | 0.75kg/m ² |
| 3-1 | 塩分吸着剤 | 亜硝酸イオン | 1.4kg/m ² |
| 3-2 | 塩分吸着剤 | 亜硝酸イオン | 15.4kg/m ² |
| 4 | 犠牲陽極 | 亜鉛 | - |

3. 実験結果

3.1 外観観察

写真-2~6に、実験開始後3サイクルと24サイクルの各ケースにおける状況を示す。写真-2の無処理のケース1は、3サイクルでは全面が錆に覆われており、24サイクルでは色が茶から黒に変化した状況がわかる。写真-3、4のケース2、3-1は、3サイクルでは所々に茶色の点錆が発生したと思われる部分があり、24サイクルではほとんどの部分に変色し、錆の発生が進行している状況が見て取れる。写真-5のケース3-2では、鉄筋に塗布した塩分吸着剤入りモルタルには、3サイクルと24サイクルで大きな変化は見受けられないが、3サイクルにおいて保護テープと試験区間の境目に若干の錆が確認できる。これは、境目が水面部であり、水分蒸発による影響で錆が発生したと推測する。24サイクルではその部分の腐食の進行が認められる。写真-6のケース4では3サイクルで錆はほとんど発生していないが、24サイクルでは犠牲陽極に近い側面部に錆が発生している状況が確認できた。犠牲陽極材は主成分の亜鉛をモルタル材で覆う構造となっており、犠牲陽極直下側面部では塩水浸漬後、室内に移したあともモルタル材は水分を含んでいたために、本部分が一番腐食しやすい環境だったことが要因の一つと考えられる。

3.2 腐食面積率

図-3に8サイクル、16サイクル、24サイクルの腐食面積率を示す。ケース1は全て100%となる。ケース2、3は、鉄筋が腐食していない部分が多いため、塗布による防錆の効果が得られたと考えられる。ただし、試験区間は、モルタルおよびペーストで鉄筋を覆っている状況であったため、防錆効果に主成分である亜硝酸がどの程度影響を及ぼしているかは検証が必要と考えている。また、サイクルの増加とともに腐食面積率も増加する傾向であり、鉄筋に塗布する量が多いほど、腐食面積率は小さい傾向となっている。ケース4でも腐食面積率が5%以下となっており防錆効果が認められた。腐食進行は、8サイクルから16サイクルにかけては増加したが16サイクルから24サイクルにかけてはほぼ横ばいであった。

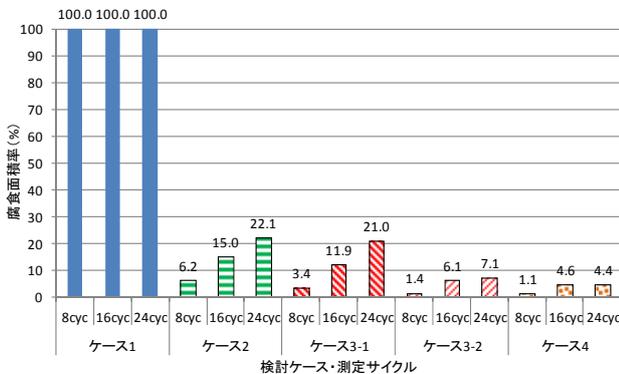


図-3 腐食面積率



(3 サイクル)



(24 サイクル)

写真-2 ケース1 (無処理)



(3 サイクル)



(24 サイクル)

写真-3 ケース2 (防錆剤 0.75kg/m²)



(3 サイクル)



(24 サイクル)

写真-4 ケース3-1 (塩分吸着剤 1.4kg/m²)



(3 サイクル)



(24 サイクル)

写真-5 ケース3-2 (塩分吸着剤 15.4kg/m²)



(3 サイクル)



(24 サイクル)

(24 サイクル

側面部代表写真)



写真-6 ケース4 (犠牲陽極)

3.3 鉄筋質量損失量

図-4 は実験開始前の鉄筋質量と実験後の鉄筋質量の差（以後、鉄筋質量損失量と称す）を示したものである。全てのケースでサイクルの増加とともに鉄筋質量損失量は大きくなった。また、ケース 2、3 では腐食面積率と同様にモルタルおよびペーストの塗布量が多いほど鉄筋質量損失量は小さく、断面修復をイメージした 3-2 でケース 2、3-1 よりも値が小さくなった。ケース 4 では他ケースより値が一番小さくなった。無処理のケース 1 と他のケースとの比較では、16 サイクルまでは塗布量の比較的少ないケース 2 とケース 3-1 でケース 1 と同等かそれ以下の値であったが、24 サイクルでは、ケース 2、3-1 で同等かそれ以上となった。腐食状態を観察すると、ケース 1 は全体的に一樣な腐食であったが、ケース 2、3、4 の腐食は部分的に腐食しており断面欠損していた（写真-7）。これは、ケース 1 は一樣のマイクロセル腐食だったのに対し、それ以外は弱点部の腐食が進行し、腐食部分でマクロセル腐食が生じ、局所的に腐食進行が早くなった可能性があると考えている。

これらの結果から、鉄筋防錆剤や塩分吸着剤では、腐食鉄筋の錆を除去して防錆処理のみを行う場合、無処理よりも腐食の進行が早くなる可能性があり、断面修復により保護することが適当と考えられる。

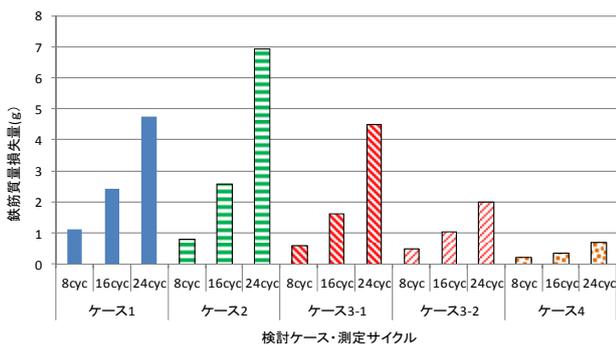


図-4 鉄筋質量損失量



写真-7 腐食状況（ケース 3-1 塩分吸着剤 1.4kg/m²）

4. まとめ

鉄筋防錆剤、塩分吸着剤、犠牲陽極を施した鉄筋を使用して塩水での乾湿繰り返し条件と比較する基礎実験を行った結果を以下に記す。

(1) 無処理、鉄筋防錆剤、塩分吸着剤、犠牲陽極ともサイクルの増加とともに腐食が進行したが、各鉄筋防錆方法における一定の防錆効果が確認できた。

(2) 鉄筋防錆剤、塩分吸着剤では、塗布量を多くし断面修復した方がより腐食の進行度が小さくなる。しかし、モルタルおよびペーストで鉄筋を覆っている状況であったため、防錆効果に主成分である亜硝酸がどの程度影響を及ぼしているかは検証が必要である。

(3) 24 サイクルの鉄筋質量損失量で、無処理のケースより防錆した方が大きいケースが一部見受けられた。腐食の進行は、無処理では腐食が一樣のマイクロセル腐食で、それ以外はマクロセル腐食によるものと考えられる。

コンクリート内における鉄筋の腐食環境は、本試験とは異なるため、実験結果を実構造物における腐食メカニズムと関連づけるにはさらなる検証が必要と考えているが、防錆処理を施し、断面修復を行うことの妥当性は確認できたと考えている。今後は、防錆処理を行った構造物での実環境下におけるデータ収集を行い、また、より実環境下に近いモデルによる室内試験にて、防錆効果の持続性について検討したい。

参考文献

- 1) 平石剛紀、新井淳一、坂田昇、須田久美子：犠牲陽極材のマクロセル腐食抑制効果に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集 Vol.24、2002
- 2) JCI 基準集：JCI-SC3 塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法－乾湿繰り返し法－、(社)日本コンクリート工学協会、2004.4