

コンクリート構造物の 維持管理上における 鉄筋防錆に関する基礎研究



佐々木 尚美*



小林 薫*

コンクリート構造物（以下、RC構造物）の施工継目部はひび割れが発生しやすく、雨水などが浸透しやすい箇所であり、鉄筋の早期腐食が懸念される箇所である。このような箇所において、鉄筋の腐食を防ぐことができれば、RC構造物の維持管理にも大きな影響を与える長期耐久性の問題も軽減できるのではないかと考え、異形鉄筋と既往の数種類の防錆材を塗布した鉄筋試験体、および施工継目部を模擬して鉄筋をコンクリートに埋め込んだコンクリート試験体を製作し、鉄筋の腐食促進試験を実施した。そして、腐食状況を確認するとともに、既往の指針などに示されている鉄筋の腐食グレード（腐食度）との比較をおこない、腐食レベルを評価した。

●キーワード：鉄筋、錆、腐食グレード、腐食促進、防錆材、防せい剤、塩水

1. はじめに

RC構造物は、供用期間中に十分な耐力および耐久性を有し、要求される性能を満足しなければならない。RC構造物の施工においては、限られた作業スペース内での施工となる場合、1つの構造物を分割して施工（施工時期をずらして施工）することが多い。この場合、構造物に施工継目部（図1）が生じるが、その部分またはその付近にひび割れが発生し、漏水の原因となることがある。このように、施工継目部は、ひび割れが発生すると空気や水が入りやすく、鉄筋が腐食しやすい環境となり、施工継目部の鉄筋が腐食し、RC構造物の耐力や耐久性に悪影響を与えてしまう可能性がある。これは、RC構造物の維持管理にも大きな影響を与える。

そこで、ひび割れが発生しやすく、雨水などの影響を受けやすい箇所において、鉄筋の腐食を防ぐことができれば、RC構造物の維持管理にも大きな影響を与える長期耐久性の問題も軽減できるのではないかと考え、異形鉄筋と既往の数種類の防錆材を塗布した鉄筋試験体とを製作し、鉄筋の腐食の経過を確認する腐食促進試験を実施した。また、施工継目部を模擬し、異形鉄筋と既往の数種類の防錆材を塗布した鉄筋をコンクリートに埋め込んだコンクリート試験体を製作し、同様の腐食促進試験を実施したので、その内容を報告する。

2. 試験方法

一般的な鋼材の腐食促進試験として、JIS Z 2371に基づき、塩分濃度 $5\pm 0.5\%$ の塩水を用い、「塩水噴霧2時間→乾燥4時間→湿潤2時間」を1サイクルとする塩水噴霧試験が行われている。今回は、より鋼材を腐食させることを目的とし、



図1 施工継目部例

次のような試験環境条件を1サイクルとし、「塩水に浸漬」と「乾燥」をくり返し行う、腐食促進試験を実施した。

〈試験環境条件：1サイクル〉

60℃の塩水（6.7%程度）に浸漬・・・4時間

60℃で、乾燥・・・・・・・・・・・・・4時間

8時間

試験体は、通常、RC構造物に用いている異形鉄筋を基本試験体とし、異形鉄筋に数種類の防錆材を塗布した試験体を製作した。そして、試験体を試験装置に入れ、腐食促進試験を実施した。腐食促進試験の計測サイクルは、0、10、50、100、200、525サイクルとし、計測項目は、試験体の質量および鉄筋径とした。

3. 試験体概要

試験体は、以下の2タイプとした。

3.1 鉄筋試験体

試験体の概要を表1および図2に示す。試験体は、①異形鉄筋、②鉄筋全体に防錆材を塗布したもの、③鉄筋半分に防錆材を塗布したものとした。①は、鉄筋そのものの発

錆状態を確認するため、②は、防錆材による発錆の違いを確認するため、③は、防錆材を塗布した箇所と塗布しない箇所との境界における発錆の違いについて確認するためである。また、防錆材については、市販の防錆材料を4種類選択して用いた。なお、鉄筋の切断面にはエポキシ樹脂を塗布した。

3.2 コンクリート試験体

コンクリート試験体は、鉄筋コンクリートの施工継目部を模擬した試験体である。試験体概要を表1および図3に示す。図3に示す2つのコンクリートブロックの間の中央の隙間は、厚さ3.2mmの鋼製プレートを設置し、コンクリート硬化後にプレートを取り除いて設けた。この隙間はコンクリートのひび割れを模しており、通常のひび割れよりも幅の広いものとした。これは、隙間から、より塩水や空気（乾燥時）が入り込む状態が繰り返されることにより、コンクリート内部の鉄筋がより腐食しやすい環境となるようにするためである。また、試験体は、①鉄筋自体に防錆対策を施した防錆材塗布鉄筋を普通コンクリートに埋め込んだもの、②コンクリートに防錆機能を持たせた防せい剤混和コンクリートに異形鉄筋を埋め込んだものの2タイプとした。

4. 試験結果

4.1 腐食レベルの評価方法

本試験による鉄筋の腐食状況について比較するためには、各試験体の腐食レベルを一定の基準をもって評価する必要がある。そこで、各試験体の腐食状況について試験結果をまとめるにあたり、日本建築学会の鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)¹⁾および、国土開発技術センター建築物耐久性向上普及委員会編の鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術²⁾を参考にした。これらの参考文献に記載されている記述内容と掲載写真を鉄筋の腐食レベルの判断指標として、目視観察による結果をまとめた。それぞれの参考文献に示されている腐食レベル（腐食グレード¹⁾・腐食度²⁾）の記述内容について、表2および表3に示す。

4.2 鉄筋試験体

4.2.1 防錆材塗布なし鉄筋（試験体T）

(1) 試験体の腐食状況（図4）

試験体の各サイクル時の腐食状況について、図4に示す。いずれの試験体も10サイクル時は、鉄筋ふし部および鉄筋表面にまばらに錆が発生していた。この段階での腐食レベルは、表2、3の各評価指標と比較すると、腐食グレードⅢ（腐食度Ⅲ）レベルであった。50サイクル時は、いずれの試験体も黒っぽい錆が多くなり、錆の膨れなどがみられ、鉄筋ふし部の見分

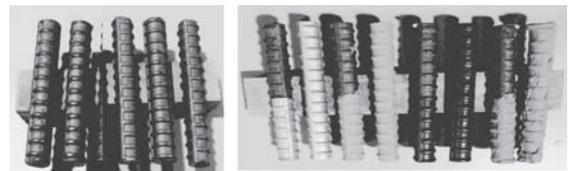
表1 試験体概要

試験体名	鉄筋試験体	試験体名	コンクリート試験体
T-1~5	SD345 D19 (T-1・2,3~5は別ロット)	ア	異形鉄筋+普通コンクリート
A-1,A-2	防錆材A（亜鉛系： 亜鉛塗膜含有率77%）塗布鉄筋	イ	錆させた鉄筋+普通コンクリート
B-1,B-2	防錆材B（亜鉛系： 亜鉛塗膜含有率96%）塗布鉄筋	ウ	防錆材A塗布鉄筋+普通コンクリート
C-1,C-2	防錆材C（亜硝酸リチウム系）塗布	エ	防錆材B塗布鉄筋+普通コンクリート
D-1,D-2	防錆材D（エポキシ樹脂系）塗布鉄筋	オ	防錆材C塗布鉄筋+普通コンクリート
		カ	防錆材D塗布鉄筋+普通コンクリート
		キ	異形鉄筋+防せい剤a混和コンクリート
		ク	異形鉄筋+防せい剤b混和コンクリート
		ケ	異形鉄筋+防せい剤c混和コンクリート

ℓ=150mm

A~D-1: 鉄筋の半分に防錆剤塗布

A~D-2: 鉄筋の全体に防錆剤塗布



異形鉄筋

防錆材塗布鉄筋

図2 鉄筋試験体

試験体寸法：100×100×200

D19（コンクリート断面中央に配置）

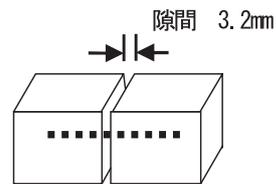


図3 コンクリート試験体概要

表2 腐食グレードの評価指標

腐食グレード	日本建築学会 ¹⁾ による鉄筋腐食評価基準グレード
I	腐食がない状態、または表面にわずかな点錆が生じている状態。
II	表面にさびが広がって生じている状態。
III	点さびがつながって面さびとなり、部分的に浮きさびが生じている状態。
IV	浮きさびが広がって生じ、コンクリートにさびが付着し、断面積で20%以下の欠損を生じている箇所がある状態。
V	厚い層状のさびが広がって生じ、断面積で20%を超える著しい欠損を生じている箇所がある状態。

表3 腐食度の評価指標

腐食度	国土開発技術センター建築物耐久性向上普及委員会 ²⁾ による鉄筋の腐食状況に応じた鉄筋腐食度を分類した例
I	黒皮の状態、または錆は生じていないが全体的に薄い緻密な錆であり、コンクリート面に錆が付着していることはない。
II	部分的に浮き錆があるが、小面積の斑点状態である。
III	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の周囲または全長にわたって浮き錆が生じている。
IV	断面欠損を生じている。

けがつきにくくなっていた。この時点で、腐食グレードV（腐食度IV）をすでに超えていると思われる。100サイクル時は、鉄筋の表面に黒っぽい錆が増え、錆の膨れやひび割れが発生していた。200サイクル時は、試験体T-1・2は錆の大きな割

れが生じ、光沢を帯びた黒色の錆が発生していた。

試験体T-3～5は、所どころ、表面にいくつもの孔を有する膨れ上がった茶色の錆が発生していた。525サイクル時は、いずれの試験体も錆が大きく膨張しており、触ると表面の錆がポロポロ落ちた。また、錆には鉄筋軸方向の縦ひび割れが多く発生していた。

(2) 鉄筋の質量変化率

防錆材塗布なし鉄筋を用いた試験体T-1～5について、各サイクル時に計測した質量から、鉄筋の質量変化率を算出した。質量変化率の算出結果を図5に示す。質量変化率の算出は、0サイクル時の質量を基準とし、それに対する比率で表している。いずれの試験体もほぼ同じ傾向で質量が増加していることがわかる。また、グラフの傾き①、②、③から、初期段階では質量変化率は低く、50→100、100→200、200→525サイクルの段階で質量が急激に増していくことがわかる。(1)の各サイクル時の腐食レベルの評価を踏まえ、どのサイクルでどの腐食レベル(腐食グレード・腐食度)に達しているかについても合わせて表記した。図に示すように、10サイクル程度で腐食グレードⅢ(腐食度Ⅲ)、50サイクル程度で腐食グレードⅤ(腐食度Ⅳ)に達している。

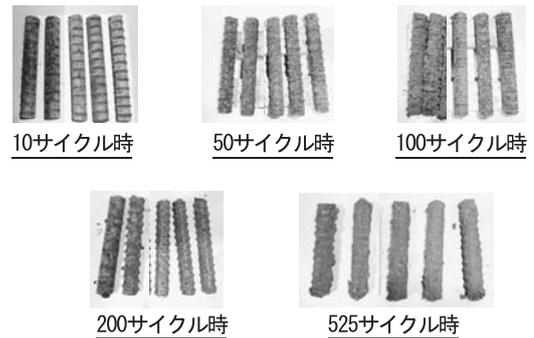


図4 試験体T 10～525サイクル時

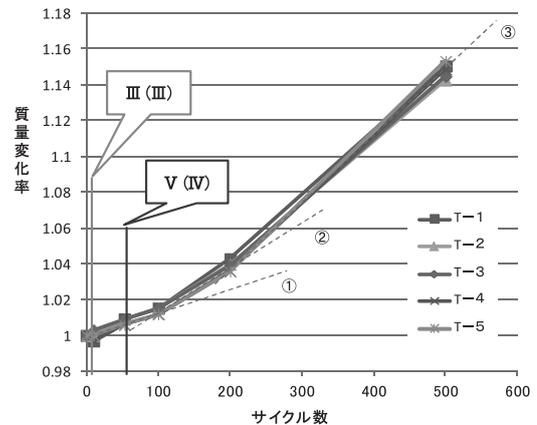


図5 鉄筋の質量変化率

4.2.2 防錆材塗布あり鉄筋(試験体A～D)

(1) 試験体の腐食状況

試験体の主なサイクル時の腐食状況について、図6～8に示す。10サイクル時では、いずれの試験体も、防錆材を塗布してある箇所は鉄筋ふし部付近に点錆が発生し、防錆材を塗布していない箇所は鉄筋ふし部を中心に錆が発生していた(図6)。防錆材を塗布した箇所においては、表2、3の各指標と比較して、腐食グレードⅡ(腐食度Ⅱ)レベルであった。50サイクル時は、試験体A～Cは、鉄筋のふし部を中心に錆が広がっていた(腐食グレードⅣ(腐食度Ⅲ)レベル)。試験体Dの塗布側は、他に比べて腐食が小さかった(腐食グレードⅡ～Ⅲ(腐食度Ⅱ～Ⅲ)レベル)。また、いずれの試験体も、防錆材塗布側と塗布無し側の境界がはっきり区別できる錆び方だった。防錆材塗布無し側は、試験体Tと同様な錆び方だった(図7、□枠内が塗布側)。525サイクル時は、いずれの試験体も錆が膨れて縦ひび割れが発生していた。どの試験体も同じような腐食状態であり、防錆材塗布なし鉄筋試験体Tと見た目には大きな違いはなかった。試験体Dは錆と一緒に塗料が確認できた(図8)。



図6 試験体A～D 10サイクル時

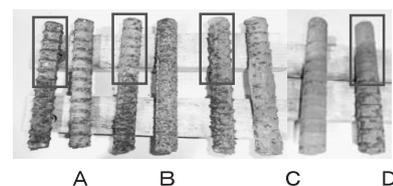


図7 試験体A～D 50サイクル時

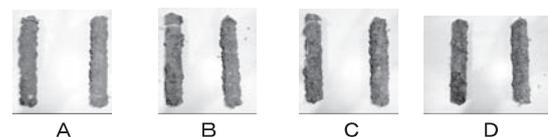


図8 試験体A～D 525サイクル時

(1) 鉄筋質量残存率

除錆した鉄筋試験体について、鉄筋質量残存率を求めた。算出方法は、同ロットである試験体T-1・2の0サイクル時の平均質量を腐食前鉄筋質量(基準)とし、錆を落とした後の鉄筋質量との比率により、鉄筋質量の残存率として算出した。

鉄筋質量残存率の算出結果を図9に示す。防錆材を塗布した試験体は、防錆材を塗布していない試験体に比べ、鉄

4.2.3 錆落とし(除錆)後の鉄筋

同条件で腐食促進を実施した全鉄筋試験体について、鉄筋表面を鉄ヘラで軽く叩いて落ちる程度の錆を落とし、その後、ワイヤーブラシで軽くこすり、錆を落とした。

筋質量残存率が5~10%程度高くなっている。また、試験体C・Dでは、防錆材の塗布範囲は、全体塗布の方が半分塗布試験体よりも防錆効果が高くなる結果を得られた訳ではなかった。

(2) 鉄筋径残存率

鉄筋径についても質量と同様に鉄筋径残存率を算出した。算出にあたり、試験体に用いたD19異形棒鋼の公称径=19.1mm³⁾を腐食前鉄筋径(基準)とし、除錆後の鉄筋径から、鉄筋径残存率を算出した。鉄筋径残存率の算出結果を図9に、鉄筋の切断面の状況を図10に示す。鉄筋径の計測値は、錆を落とした鉄筋をカッターで切断し、その切断面において直交する2ヶ所で計測した平均値とした。図9より、鉄筋の質量と径の残存率は、一部に違いはあるものの、ほぼ同じ傾向であることがわかる。また、図10より、鉄筋の切断は、カッターで行ったため一部めくれあがった状態となったが、鉄筋断面の錆び方は均一ではないことがわかる。

4.3 コンクリート試験体

4.3.1 コンクリート試験体内部の鉄筋

0サイクルから525サイクルまでは、コンクリート試験体の質量の計測と外観変状の目視確認をおこなった。

(1) 0~200サイクルまで

0~200サイクル時までは、外観上、いずれも大きな変化は見られず、錆粉の付着はあるものの、コンクリート自体にひび割れは発生していなかった。

(2) 525サイクル時

コンクリートに防せい剤を混和したコンクリート試験体は、ひび割れの幅や長さの違いはあるものの、すべてひび割れが発生していた(図11)。また、コンクリート内部の鉄筋の腐食状況を確認するために、コンクリートを割って、内部の鉄筋を取り出した(図12)。コンクリートを割ってみた結果、中央の隙間にはコンクリート打設時のペーストが入り込み、鉄筋部が完全に露出した状態になっていなかったと思われる試験体もあった。隙間の中央部とコンクリート内部での鉄筋の錆び方はそれほど大きな違いは確認できなかった。

(3) 腐食レベルの評価

鉄筋試験体と同様に、コンクリート内部に埋め込んだ鉄筋についても、腐食レベルの評価をおこなった。評価は指標とした表2、3に記載されている記述内容および文献掲載写真¹⁾をもとに判定した。表2による判定結果は、記述内容との比較では、試験体カが腐食グレードⅢ~Ⅳ、写真との比較では、試験体ア・カ・キが腐食グレードⅡとなった。それ以外は記述内容判定(グレードⅣ)、写真判定(グレードⅢ)であった。表3による判定結果は、記述内容および写真との比較では、試験体カがともに腐食度Ⅱ~Ⅲ、それ以外は記述内容および写真判定とも腐食度Ⅲであった。今回の試験および腐食レベ

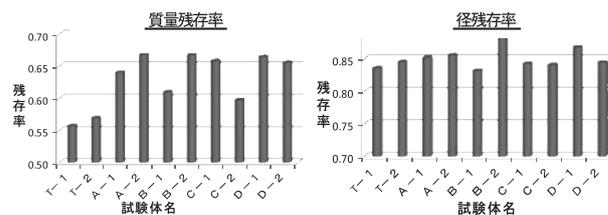


図9 鉄筋質量・鉄筋径の残存率

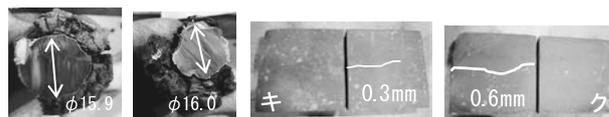


図10 鉄筋の切断面

図11 ひび割れの発生状況

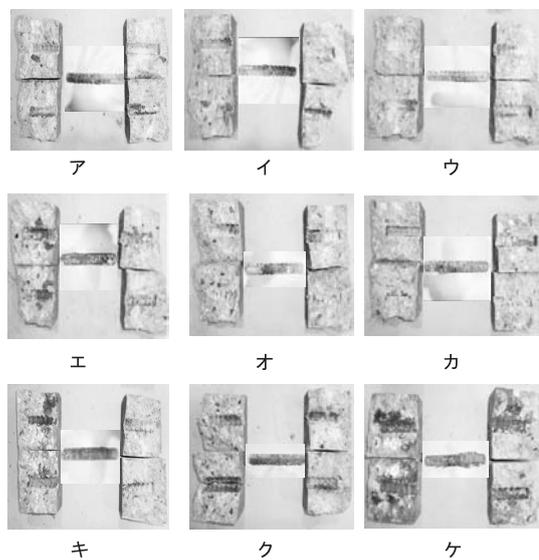


図12 コンクリート試験体の割断面

ルの評価方法では、他の試験体に比べて、エポキシ樹脂系の鉄筋防錆材を用いた試験体カのみ、他よりも防錆効果があるという結果となった。

5. まとめ

RC構造物の維持管理に影響を与える鉄筋の防錆に関する基礎試験を実施した。その結果、防錆材や防せい剤の違いによる防錆効果を確認したが、構造物の供用期間における防錆性能が確立できれば、構造物の耐久性向上や維持管理の軽減に寄与できると考える。

参考文献

- 1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説、2000.12
- 2) 国土開発技術センター建築物耐久性向上普及委員会編、建築物の耐久性向上シリーズ-建築物構造変Ⅰ-鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術、技報堂出版、1986.6
- 3) JIS G3112 鉄筋コンクリート棒鋼