

## 論文 新しい被覆材を用いたスープロ鉄筋の基礎的特定

阿部 浩幸<sup>\*1</sup>・千桐 一芳<sup>\*2</sup>・杉山 敏郎<sup>\*3</sup>・海津 誠昭<sup>\*4</sup>

**要旨**：従来の熱硬化型エポキシ樹脂を用いた塗装鉄筋とは異なる熱可塑性樹脂を表面被覆材として用いた新しい防食被覆鉄筋（以下、スープロ鉄筋とする）を開発した。スープロ鉄筋の特徴はピンホールのない完全被覆である。このスープロ鉄筋の性能確認を目的に、曲げ加工試験、付着試験、耐腐食性試験および耐候性試験を行った。その結果は、曲げ加工において被覆に損傷がないこと、コンクリートとの付着強度は非被覆鉄筋の90%以上であること、耐腐食試験および耐候性試験において優れた性能を有していること、等である。本稿は、これらの試験結果について報告するものである。

**キーワード**：防食被覆鉄筋，ナイロン樹脂，付着強度，塩水噴霧試験，耐候性試験

### 1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性劣化は、塩害や中性化に起因する鉄筋またはPC鋼材の発錆・腐食に負うところが多い。そこで、ライフサイクルコストの面から、鋼材の防食に配慮したコンクリート構造物の構築が進められてきている。現在、鋼材の腐食に対する配慮として、かぶりを大きくする方法の他に、耐腐食性に優れた材料を用いる方法があげられる。鉄筋に限定した場合、そのひとつとして表面をエポキシ樹脂で被覆したエポキシ樹脂塗装鉄筋が一般に用いられている。エポキシ樹脂塗装鉄筋は、1973年に米国で初めて構造物に適用され、日本においては現在年間約4,500tが生産されている<sup>1)</sup>。その量は年々増加していることから、耐腐食性鋼材

への社会的ニーズが高まっていることがわかる。しかし、エポキシ樹脂塗装鉄筋は、ピンホールという塗膜不完全部分の存在を避けられず、「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針」<sup>1)</sup>に記載の品質規格では、5~8個/mのピンホールを許容している。

このような課題を解決する材料として、熱可塑性のナイロン樹脂を被覆材としたスープロ鉄筋が開発された。ナイロン系樹脂を熔融押出成形して鉄筋に接着させる製造方法で、ピンホールのない完全被覆を実現させたものである。被覆材として使用されているエポキシ樹脂とナイロン樹脂の一般的諸性能の比較を表-1に示す。エポキシ樹脂は、接着性の他に耐薬品性・電気抵抗性に優れていると言われている。一方、ナ

表-1 ナイロン樹脂とエポキシ樹脂の諸性能比較

	ナイロン樹脂	エポキシ樹脂
破断伸び	100~300%	3~5%
密度	1.01~1.02	1.1~1.4
表面硬度(Dスケール)	76	70~80
耐候性	○紫外線に強い	△紫外線に弱い
接着性	△必要接着性は確保	○完全密着

\*1 オリエンタル建設(株) 技術研究所 工修 (正会員)

\*2 ヒエン電工(株) 産業機材営業グループ長 (非会員)

\*3 ヒエン電工(株) 産業機材営業グループ (非会員)

\*4 オリエンタル建設(株) 東京支店 (非会員)

イロン樹脂の場合、伸び性能はエポキシ樹脂の約 100 倍大きく、耐候性に優れていることがわかる。一般に、ナイロン系樹脂は液体を吸収することにより性能低下する欠点を持つが、今回適用したナイロン樹脂は耐薬品性に優れ高アルカリ環境下においても安定した性状を示すものである<sup>2)</sup>。このようなナイロン樹脂を溶融押出成形して被覆した鉄線を用いてネットフェンスに曲げ加工製造したものが昭和 52 年に海岸沿いに設置され、被覆部分の劣化はもとより錆の発生もなく健全な状態で使用され続けている。このように耐久性に優れた材料であるナイロン樹脂で被覆されたスूपロ鉄筋をコンクリート構造物の補強材として使用する場合の基本的性能について各種試験を行ったので、その結果について報告する。



写真-1 被膜表面ヒレ形状

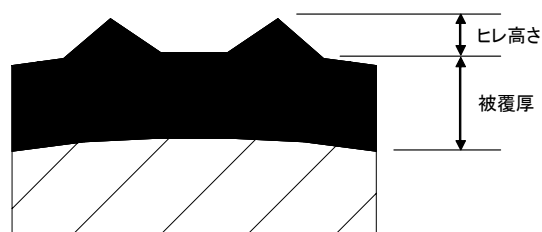


図-1 ヒレ高さ計測図

## 2. 性能試験とその結果

### 2.1 コンクリート付着試験

異形鉄筋とコンクリートの付着は、鉄筋表面の付着と、鉄筋リブの凹凸とコンクリートとのかみ合いによる機械的な抵抗から構成される。被覆材を鉄筋に塗布した場合、被覆材の表面の滑らかさ故に付着性能は低下すること、リブの凹凸形状が滑らかになることよりかみ合わせ性能が低下すること、など付着強度は低下すると言われている。ナイロン系樹脂を被覆材として用いたスूपロ鉄筋の平均被覆厚さは 0.25～0.35mm であり、被覆した鉄筋の表面の凹凸形状は滑らかになり付着強度の低下は避けられない。そこで、付着性能を改善する目的でスूपロ鉄筋の表面に写真-1 に示すような小さなヒレを加工した。このような、ヒレを含む表面状態と付着強度との関係について確認を行った。

#### (1) 試験パラメータと試験方法

試験は、鉄筋径、ヒレ高さおよびヒレ形状をパラメータとした。図-1 にヒレ高さの計測位置を示す。表-2 に各パラメータの組み合わせを示す。ヒレ形状の直線とは、ヒレが鉄筋軸方向に平行に直線的な状態のものを示し、回転と

表-2 試験パラメータ

鉄筋径	ヒレ形状			
	無し	高さ 0.01～0.08mm		高さ 0.11～0.13mm
		直線	回転	
D10	○	○	○	○
D13	—	○	—	○
D19	—	—	—	○

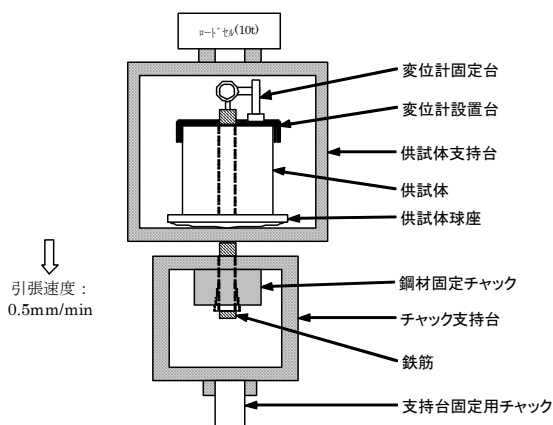


図-2 引抜き試験状況

は鉄筋軸を中心になせん状の状態を示している。試験体および試験方法は、建材試験センターの「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法 (JSTM C 2101)」に基づいて行った。試験は、図-2 に示す装置を用いて、載荷速度は 0.5mm/分で行った。コンクリートは試

験時圧縮強度  $f_c=30\sim34\text{N/mm}^2$  のものを使用し、コンクリートと鉄筋の付着長は鉄筋公称径の 3.8~4.0 倍とした。試験体は、各パラメータについて 3 体を製作し、比較のために非被覆鉄筋についても試験を行った。

## (2) 試験結果と考察

試験は、それぞれのコンクリート強度が異なることから、最大耐力を公称表面積で除した最大付着応力度について非被覆鉄筋の結果に対するスープロ鉄筋の結果の比を強度比として比較する。図-3 にヒレ高さと強度比の関係を示す。この図より、ヒレ高さに比例して強度比が増加傾向にあることがわかる。D10 のヒレ高さ 0.01mm~0.05mm でヒレ形状が直線と回転とを比較した場合、その結果はほぼ同じ強度比を示している。このことより、スープロ鉄筋の場合のヒレ形状よりヒレ高さの方が付着強度に影響していると判断できる。今回の結果では、ヒレ高さが 0.11~0.13mm で強度比 0.9 以上を示している。参考文献 1) に、「エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度は、非被覆鉄筋のそれと比較して 90%程度を確保していることから、付着強度の特性値を非被覆鉄筋の設計値に対して 85%とする」と記述されている。スープロ鉄筋のヒレ高さを 0.11~0.13mm とすることでエポキシ樹脂塗装鉄筋と同等の付着強度が得られると考えられる。

図-4 に D13 および D19 のヒレ高さがそれぞれ 0.124mm および 0.112mm の試験体の付着応力と変位の関係を示す。これらの図より、スープロ鉄筋の付着挙動は非被覆鉄筋のものと若干異なり、非被覆鉄筋より大きな変位で最大付着応力度を迎えている。この傾向は、被覆厚さが厚いほど顕著であったこと、エポキシ樹脂塗装鉄筋の場合も塗膜厚さが大きくなると非被覆鉄筋とのずれが大きくなると報告<sup>3)</sup>されていることから、今回の試験においても被覆厚がこのずれの原因と考えられる。

## 2.2 鉄筋と被覆材の付着試験

スープロ鉄筋の被覆材であるナイロン樹脂は、

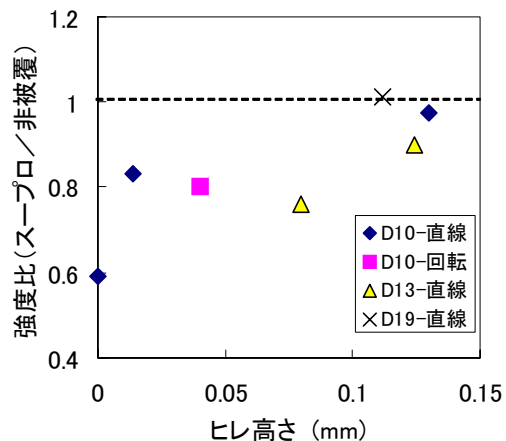
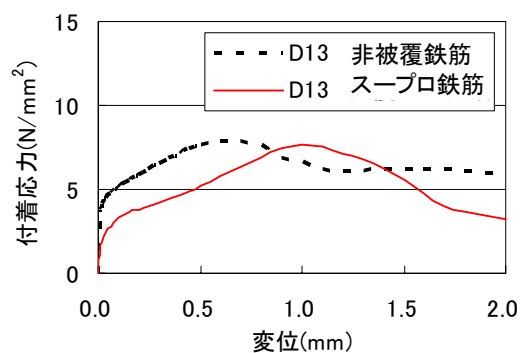
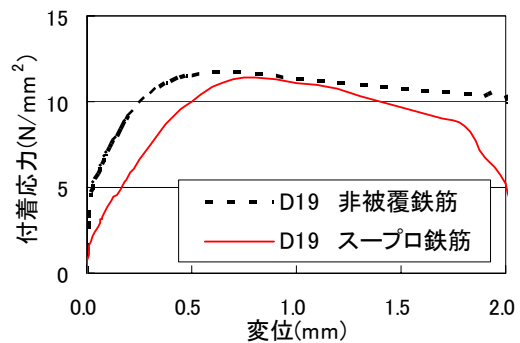


図-3 ヒレ高さと強度比の関係



(a) D13



(b) D19

図-4 付着応力と変位の関係

鉄筋表面の酸化被膜を除去するためにサンドブラスト処理を行い、接着剤を介して母材鉄筋と接着させている。この被覆材の付着性能を確認するため、引張試験を行った。

### (1) 試験片および試験方法

試験は、金属材料試験方法 (JIS Z 2241) に沿って行った。被覆材の追従性の確認のため、スープロ鉄筋 D10 でヒレのない被覆厚さ 0.317 mm を用いて被覆表面および被覆を除去した鉄筋露

出面にひずみゲージを貼付して、応力とひずみの関係を計測した。試験片ゲージ貼付状況および試験状況を写真-2に示す。

### (2) 試験結果

図-5に応力とひずみの関係を示す。被覆表面ひずみは鉄筋ひずみに比べ若干小さい値を示すが、鉄筋降伏時における両者の差は約9%と小さく概ね一致していることがわかる。降伏後、被覆表面ひずみは、50,000 $\mu$ 以上の値まで計測されていたことから、高い伸び領域まで被覆が鉄筋に追従していたと考えられる。破断後、破断近傍の鉄筋横リブ周辺に被覆の浮きや損傷は確認されなかった。以上より、スープロ鉄筋の被覆材は鉄筋破断近くまで追従することが確認された。

## 2.3 曲げ試験

曲げ加工した際の被覆状態を評価するため、コンクリート標準示方書「構造性能照査編」<sup>4)</sup>に規定の鉄筋の曲げ半径で曲げ加工を行い、曲げ外周および内周表面の被覆に微小割れ、開口割れ、剥離などの欠陥がないかどうかを観察した。

### (1) 試験片および試験方法

試験片は、スープロ鉄筋 D10 で被覆厚さが0.245mmと0.333mmの2種類を用いた。曲げ加工機(株)オグラ製 MSB-16)に、エポキシ樹脂塗装鉄筋と同様に曲げ装置のローラー部にジュラコン製のライニング(支点ローラー外径 $\phi$ 88mm, 加圧ローラー外径 $\phi$ 38mm)を取り付けて180°まで曲げ加工を行った。

### (2) 試験結果

写真-3に被覆厚さ0.245mmの曲げ加工部の状況を示す。曲げ加工部をピンホールテストにて被覆損傷の有無の確認を行い、損傷部を写真中に示す。鉄筋横リブ近傍に損傷が確認されたが、曲げ加工内側には確認されなかった。次に、被覆厚さ0.333mmの試験片の状況を写真-4に示す。結果は、ローラーと接触する鉄筋横リブ位置で多少変形が確認されたものの、開口割れや剥離などはなく、ピンホールも確認されな

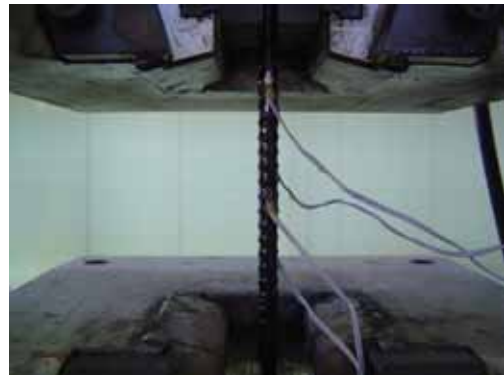


写真-2 引張試験状況

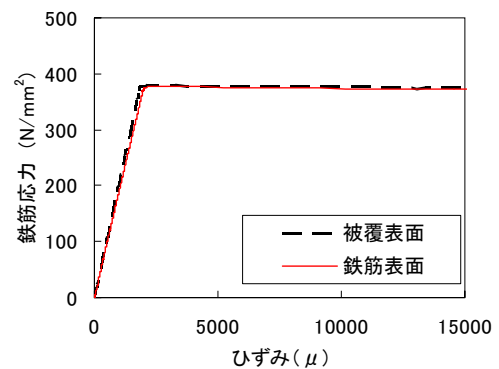
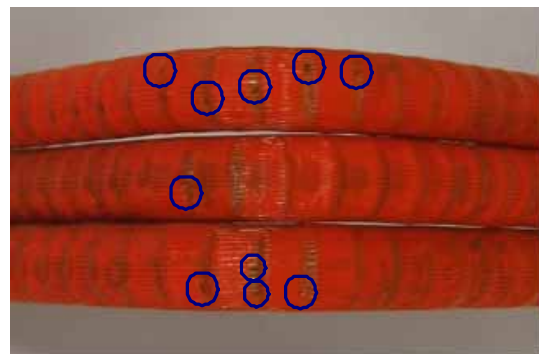


図-5 スープロ鉄筋応力度とひずみの関係



(図中○印部がピンホール確認箇所)

写真-3 被覆厚さ0.25mm曲げ加工後状況



写真-4 被覆厚0.33mm曲げ加工後状況

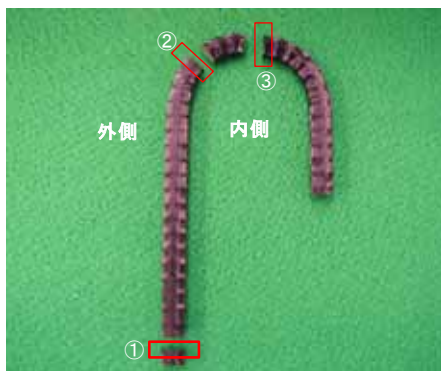


写真-5 被覆厚さ測定位置

表-3 被覆厚測定結果

被覆厚測定位置		被覆厚 (mm)	ヒレ高さ (mm)
①	外側	0.323	0.12
	内側	0.343	0.113
②	外側	0.2	-
	内側	0.246	0.064
③	外側	0.113	0.048
	内側	0.194	0.022

った。曲げ加工部の被覆厚さを確認するため、写真-5に示す3断面で被覆厚さの測定を行い、その結果を表-3に示す。曲げ加工部の被覆厚さは、曲げ加工の内側に比べ外側の方が薄く、180度曲げ加工の90度付近で最小となっている。最小被覆厚さは、標準部の被覆厚さの1/3程度であった。ヒレの高さも標準部に比べ小さくなっているが、これは加工治具との接触圧によって変形したものと考えられる。以上のことより、曲げ加工部において被覆が確保されかつ亀裂などの損傷を起こさせないためには、被覆厚さとして0.33mm程度が必要であることが確認された。

## 2.4 耐食性試験

スूपロ鉄筋を曲げ加工した際に、加工機により曲げ部分の被覆に変形が生じる。その損傷が耐腐食性に対して影響あるかどうかを確認するため、塩水噴霧試験を実施した。

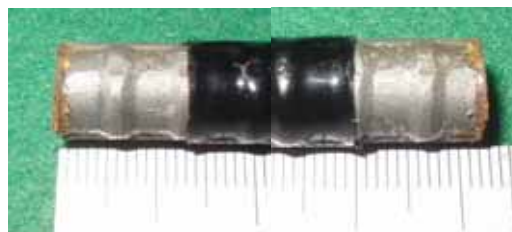
### (1) 試験片および試験方法

試験に用いた試験片は、曲げ加工試験において良好な結果の得られた0.33mm程度の被覆厚さを目標に製作された被覆厚さ0.317mmのスूपロ鉄筋D10（ヒレなし）を用い、180度に曲げ加工を行ったものを使用した。また、端部処理せずに鉄筋の表面を露出した試験片も用いた。

試験方法は、JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法に基づいて行った。試験条件を表-4に示す。35℃環境中に5%塩水を噴霧し、1,000時間試験片を放置した。



(a) 曲げ加工部分



(b) 端部無処理部分

写真-6 塩水噴霧1,000時間後状況

### (2) 試験結果

写真-6に1,000時間塩水噴霧後の試験片の状況を示す。写真からもわかるように、曲げ加工部分に錆の発生は確認されず、健全な状態であった(写真-6(a))。また、端部無処理部分の状況(写真-6(b))は、露出部分の鉄筋は発錆しているものの、内側には錆が進行していな

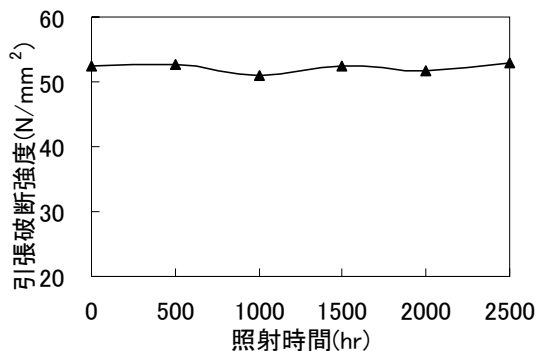


図-6 照射時間と引張強度の関係

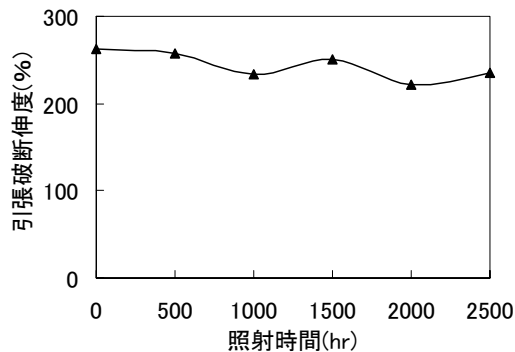


図-7 照射時間と破断時伸びの関係

かった。このことより、付着が十分に確保されて錆の進行を防いでいたと考えられる。

## 2.5 耐候性試験

スープロ鉄筋の被覆材であるナイロン樹脂の特徴のひとつに紫外線に対する抵抗性に優れていることが挙げられる。そこで、紫外線劣化に対する抵抗性を確認するため、耐候性試験を行った。

### (1) 試験方法

試験は、ASTM D638 に沿って製作されたダンベル型試験片をサンシャイン W.O.M に規定の 63℃環境中でカーボアーク灯を照射するとともに 120 分中 18 分間水を噴射する方法で行った。500 時間ごとに引張試験を行い、破断強度および伸びの計測を行った。

### (2) 試験結果

図-6 に照射時間と破断時引張強度の関係を、図-7 に照射時間と破断時伸びの関係を示す。これらの図より、被覆材の伸び率が照射 2,500 時間後で約 10%低下したものの引張強度はほとんど変化なく、紫外線劣化に対して十分な抵抗性を有していることがわかる。エポキシ樹脂塗料について、同様な条件で表面光沢の変化を測定した結果によると照射 200 時間で光沢保持率が約 80%低下していたこと<sup>1)</sup>、6ヶ月の屋外暴露後に曲げ加工をした場合にひび割れが確認されたこと<sup>3)</sup>、などが報告されている。単純に比較はできないが、スープロ鉄筋は、エポキシ樹脂塗料鉄筋に比べ耐候性に優れていると考えられる。

## 4. まとめ

今回の一連の試験より以下のことが確認された。

(1) 付着強度試験より、スープロ鉄筋とコンクリートとの付着は非被覆鉄筋の付着強度の 90%以上である。これは、エポキシ樹脂塗装鉄筋と同等以上の性能である。

(2) 曲げ試験および耐食性試験より、被覆厚さ 0.33 mm の条件において、スープロ鉄筋は曲げ加工した部分においても被膜は確保されているとともに亀裂などの損傷はなく、塩水噴霧 1000 時間後においても錆の発生はなく、耐久性に優れている。

(3) 引張試験より、スープロ鉄筋の被覆材と鉄筋との付着は破断近くまで確保されている。

(4) 耐候性試験より、照射 2,500 時間後においても 90%以上の伸び性能が確保され、紫外線抵抗性に優れている。

## 参考文献

- 1) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版]コンクリートライブラリー112, 2003
- 2) ダイアミド技術資料 No.1005 (改-1)
- 3) 前田聡ほか：最近のエポキシ樹脂塗装鉄筋の諸性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.667-672, 2005
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書[構造的な性能照査編], 2002