

東洋大学 工学部 正会員 坂本信義

東洋大学 工学部 正会員 岩崎訓明

1. まえがき

ここ数年来、鉄筋コンクリート構造物の耐久性とコンクリート中の鉄筋等の腐食による構造物の劣化が問題となり、耐食鉄筋としてのエポキシ樹脂塗装鉄筋の実用化が進められている。

ここでは、低温下においてエポキシ樹脂塗装鉄筋の曲げ試験および疲労試験を行い、塗膜の損傷、剝離および促進試験による鉄筋の腐食性状を調べた結果について報告する。

2. 供試EP鉄筋の塗膜厚

表-1 各試験に用いたエポキシ樹脂鉄筋の平均塗膜厚さ(μm)

実験に先立って、供試エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜厚さを測定した。膜厚の計測には電磁式膜厚計を用い、長さ1.0mの鉄筋2本について、中央30cm部分の全てのふし中間部（各20箇所）を各個所直交方向に測定して、80個の測定値の平均値を試験値とした。その結果を示したものが表-1である。

試験名	会社No	EP-1	EP-2	EP-3	EP-4	EP-5	EP-6
曲げ加工		160	168	168	164	157	166
疲労試験		157	169	162	161	152	167
引張試験		162	171	167	160	149	169

曲げ内半径 2φ、D-19

3. 曲げ試験について

エポキシ鉄筋は、膜厚測定後20℃、-20℃の試験用水槽内に静置し、試験浸漬日数を7日、28日および56日とした。曲げ試験は、試験片を水槽から取り出して、直ちに電動式ローラー曲げ試験機を用いて迅速に行った。その場合曲げ内半径は、公称呼び径の2倍と一定にし、曲げ加工時の鉄筋塗膜の損傷を防止するためにビニールをローラーに巻いて行った。各会社（EP-16）別に、曲げ加工後の曲線部の性状の変化について、目視観察し、その後50℃、NaCl5%溶液による塩水噴霧試験装置に入れて、24時間毎に曲線部の塗膜の性状について観察した。表-2 曲げ加工時のエポキシ塗膜のひびわれ発生の観察結果

浸漬温度、浸漬試験日数および各会社による曲げ加工による曲線部の状況の観察結果について示したのが表-2である。その結果、浸漬日数7日の低温下で、163、165にひびわれが観察され、28日までは、不変であったが、浸漬日数56日では、6種類の製品中4種類までに曲線部にひびわれの発生が低温時に生じることが見い出された。

ひびわれ
○ ×
無 有

会社No	7日		28日		56日	
	20℃	-20℃	20℃	-20℃	20℃	-20℃
EP-1	○	○	○	○	○	○
EP-2	○	○	○	○	○	×
EP-3	○	×	○	×	○	×
EP-4	○	○	○	○	○	×
EP-5	○	×	○	×	○	×
EP-6	○	○	○	○	○	○

しかし、これが低温期間が長くなったことによる影響かどうかはまだ不明である。次に、曲げ加工部の性状についてさらに詳しく調べるために、曲げ加工後、塩水噴霧試験を行って、目視観察出来なかったひびわれや、塗膜から塩化物の浸入によつての鉄筋素地への影響について検討した。その結果塩水噴霧24時間で鉄筋素地の腐食による錆が塗膜面上に現われている鉄筋が見られた。腐食性状の傾向は、曲げ加工温度にも関係があって、低温下のものは、塩水噴霧1日で、腐食が生じているが、常温のものは、2.5日目初めて腐食が観察された。なお、腐食の部分は、会社名や文字などの突起部とふし付近に集中しているのが特徴である。

表-3は、塩水噴霧28日後の結果で、腐食の評価を定量的に表示することは困難であったが、曲げ試験時に、発錆が見られない場合でも、EP-6を除いては、

表-3 各浸漬日数後28日間塩水噴霧を行った結果

会社No	7日		28日		56日	
	20℃	-20℃	20℃	-20℃	20℃	-20℃
EP-1	○	○	○	○	△	△
EP-2	○	○	○	△	○	×
EP-3	○	×	△	×	○	×
EP-4	○	○	○	○	○	×
EP-5	△	×	△	×	△	×
EP-6	○	○	○	○	○	○

△ ひびわれは認められなかったが塩水噴霧によって腐食を生じたもの
× ひびわれ部塩化物が浸入して腐食を生じたもの

低温下での曲げ加工部の一部分に腐食が生じていた。この鉄筋素地の腐食状況を観察するために、腐食部の塗膜を剥ぎ取って調べた結果、点状腐食にとどまっていた、孔食までには至っていなかった。このように、環境条件が厳しい場合には製品によって塗膜の性質にかなりの差があるようで、この実験においては、EP-6がどの場合でもよい結果を示していた。

4. 繰返し応力を与えたEP鉄筋の性状

エポキシ樹脂塗装鉄筋が低温状態で、繰返し応力を受けた場合の鉄筋素地と塗膜間の密着性の問題あるいは塗膜の疲労ひびわれ発生の有無等について調べるため疲労試験および引張試験を行った。疲労試験中の鉄筋は、中央30cmの部分が-20℃の冷却装置内にあって、常時-20℃の温度に調節されるようになっている。又疲労試験における繰返し荷重の値は、実験に用いた鉄筋の材質(SD30、降伏点荷重8.6tf)を考慮して、下限荷重3tf、振幅が4.3tfおよび5.3tfになるように設定し、1分間に300回片振り試験を実施した。

この間、繰返し回数が50万回ごとに塩水噴霧を5日間行い塗膜面を目視観察した。荷重の振幅は200万回までを4.3tfとし、200万回後5.3tfとして、300万回を以て終了とした。この条件での300万回までの試験体の中では、塗膜表面にひびわれ等の欠陥の発生は観察されず鉄筋素地と塗膜の密着性は、低温下で繰返し応力を受けた場合でも良好である。

次に、疲労試験終了後の各全ての鉄筋について、通常の引張試験を行った。図-1に示すように、ワイヤストレンゲージをエポキシ鉄筋の塗膜と鉄筋素地の位置に貼りつけて、0.5tf間隔で10tfまでのびずみの値を計測した。

表-4は、低温疲労試験前後における鉄筋の機械的性質の試験結果であって、鉄筋は引張強さ、その他にほとんど影響を受けていない。一方、表-5は、引張試験中に塗膜に初めてひびわれが発生したときの荷重を最大荷重に対する百分率であって、EP-4およびEP-6は、最大荷重に達するまで塗膜にひびわれが生じなかったのに対して、EP-3では、最大荷重の約75%の荷重で、またEP-5は、約85%の荷重でひびわれが発生している。この結果を表-2、3の曲げ試験結果におけるひびわれの発生傾向と対比してみると、両者はきわめてよく符号していることが分かる。したがって、低温下での曲げ試験は、低温下での疲労ひびわれの発生についての判断資料にもなりうるものと考えられる。

5. あとがき

一般に合成樹脂の感温性が大きいところから低温時におけるエポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜の疲労ひびわれが懸念されたが、本実験の結果、低温時の曲げ試験で良好な性状を示した鉄筋は、低温時の繰返し応力に対しても十分なひびわれ抵抗性をもつことが確かめられた。しかし、塗料の種類により、低温下での使用が不適当なものもあることに注意が必要と思われる。

図-1 ひずみゲージ貼付け位置

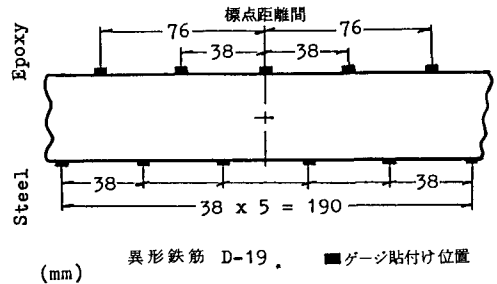


表-4 エポキシ樹脂塗装鉄筋の機械的性質

材質・呼び径(mm) 試験条件 性質 会社Na	SD30			D-19		
	疲労試験前の性質			疲労試験後の性質		
	降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %	降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %
EP-1	36.2	56.7	23	36.0	56.2	25
EP-2	36.6	56.7	23	36.4	56.5	25
EP-3	36.1	57.9	21	35.8	57.6	24
EP-4	36.6	58.5	24	36.3	58.1	26
EP-5	35.8	56.5	21	34.9	56.0	24
EP-6	36.3	57.4	24	36.1	57.1	25

表-5 低温疲労試験後の引張試験における最大荷重に対する塗膜の初期ひび割れ発生荷重の百分率
(100% = 最大荷重時までひびわれが生じない場合)

会社Na	EP-1	EP-2	EP-3	EP-4	EP-5	EP-6
比率(%)	91.3	87.7	75.2	100	84.6	100