

東北大学 学生員 ○大沢健治
東北大学 正 員 三浦 尚
住友金属 山崎 章

1. まえがき

海洋環境下にある鉄筋コンクリート構造物、あるいは、寒冷地で融雪剤を多用する所の鉄筋コンクリート構造物では、塩分による内部鉄筋の腐食の危険性が高い。この問題の対策の一つとしてエポキシ樹脂塗装鉄筋の使用が考えられている。一方、エポキシ樹脂塗装鉄筋は弱点として、曲げ加工によって被膜が損傷しやすいこと、低温下で使用した場合、エポキシ樹脂が固くなってひび割れが出やすくなると考えられること、重ね継手以外の耐腐食性のある継手工法が少ないこと、などが考えられる。本研究では、このうち継手工法としてはねじ継手でカップラーを樹脂固定したものは耐腐食性に優れていると考え、エポキシ樹脂塗装ねじ鉄筋を用いることとし、寒冷地での使用性も考慮した曲げ加工性及び、継手部の耐腐食性などを実験的に調べ、考察した。

2. 実験概要

使用した鉄筋は、熱間圧延異形ねじ棒鋼D22(SD35)にエポキシ粉体を静電塗装して表面処理を行なったもので、その塗膜厚さは平均値が200 μ 、最低値は150 μ である。また、塗膜のピンホールは1m当り5個以下となるように作られている。

(実験I) 実験Iでは、(i)常温下及び低温下において鉄筋の直線部が許容応力度まで载荷を受けた場合の被膜の性状、(ii)鉄筋の冷間曲げ加工性、(iii)冷間曲げ加工を行なった鉄筋が常温下及び低温下において許容応力度まで载荷を受けた場合の被膜の性状、の三つに関して実験を行なった。(i)では、载荷は引張試験機を用いて行ない、温度の範囲は+20℃から-40℃とした。(ii)では、加温した鉄筋に曲げ加工に相当する残留歪を与えて、温度の影響で冷間曲げ加工性がどのように変化するかを調べた。与える残留歪が20%以下の場合には引張試験機を用いて鉄筋を引張ることによって歪を与え、残留歪20%以上の場合には鉄筋を曲げることによって歪を与えた。(iii)では、冷間曲げ加工に相当する歪を引張によって鉄筋に与えた後、それを+20℃から-30℃の条件下でさらに载荷し、载荷前後の被膜の性状を比較した。

鉄筋の被膜の性状の観察は、主にピンホール探知機(電位差1 μ V)で欠陥の数を測定する方法によって行なった。また、実験によっては、電解質の不凍液中での絶縁抵抗を測定することによって被膜の破壊の発生時点を察知した。曲げ加工や引張载荷によって被膜の損傷を観察した鉄筋は、全て、6時間サイクルの乾燥及び海水中浸漬の繰り返しを与える腐食促進試験を一週間行ない、腐食状況を観察した。

(実験II) 実験IIでは、図-1に示すような、ねじ継手の耐腐食性を調べた。ここで用いたカップラーの外表面は鉄筋と同じようにエポキシ樹脂でコーティングされており、継手部を固定するためにカップラー内部はエポキシ樹脂で充填されている。この継手部によって図-2に示す2種類の両引供試体を作製し、鉄筋の許容応力度(2000 kg/cm^2)まで緊張し、ひび割れを発生させ、ひび割れが閉じない状態で固定したまま、6時間サイクルの乾燥及び海水中浸漬の繰り返しを与える腐食促進試験を一週間行ない、腐食状況を観察した。

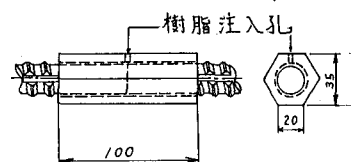


図-1 継手部の形状

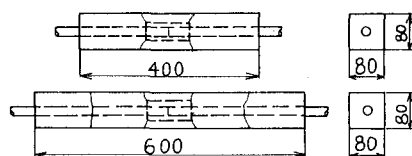


図-2 両引供試体の形状

3. 実験結果及び考察

(実験I)

(i) 常温下及び低温下において鉄筋の直線部が許容応力度まで載荷を受けた場合の被膜の性状

電解質の不凍液を用いる方法によって被膜の損傷を観察した。この結果、被膜の損傷が感知されたのは -40°C の低温下においても、鉄筋が降伏応力度以上の載荷を受けてからだった。よって、寒冷地でもエポキシ樹脂塗装鉄筋の使用には問題がないと思われる。

(ii) 樹脂塗装鉄筋の冷間曲げ加工性

樹脂塗装鉄筋の、加工温度と冷間曲げ加工性の関係を図-3に示した。被膜の損傷はピンホール探知機によって調べた。図中の実線は、損傷が生じないように加工ができる境界線である。図-3によって、残留歪4.8%の加工(曲げ内半径10φの曲げ加工に相当)では 40°C 以上に、残留歪9.1%の加工(曲げ内半径5φの曲げ加工に相当)では 55°C 以上に、残留歪20%の加工(曲げ内半径2φの曲げ加工に相当)では 70°C 以上に鉄筋を加熱する必要があると推察できる。また、腐食促進試験の結果によると、腐食が生じるかどうかの限界も図-3の境界にはほぼ等しかった。

(iii) 冷間曲げ加工した樹脂塗装鉄筋が、常温下及び低温下において許容応力度まで載荷を受けた場合の被膜の性状

(ii)によって冷間曲げ加工時に必要な温度が推察されたので、残留歪5%程度の加工(曲げ内半径10φの曲げ加工に相当)を行なった鉄筋及び、残留歪10%程度の加工(曲げ内半径5φの曲げ加工に相当)を行なった鉄筋を、常温下あるいは低温下で載荷を行い、載荷前後の欠陥の数の変化を調べた。載荷は 2700N/mm^2 の引張応力度が発生するまで行ない、欠陥はピンホール探知機によって測定した。結果を表-1に示す。表より、 40°C で5%程度の残留歪を与えた鉄筋と、 60°C で10%程度の残留歪を与えた鉄筋では、載荷によって欠陥が増える傾向が認められる。しかし腐食促進試験の結果によると、これらの鉄筋は全く錆びることなく、よって、低温載荷による少々の欠陥の増加は腐食には影響がないと思われる。また、上記の曲げ加工温度より10℃高い温度で残留歪を与えた供試体においては、 -30°C で 2700N/mm^2 の引張応力を加えても欠陥はほとんど増加しないようである。

今回の実験では、エポキシ樹脂塗装鉄筋を曲げ加工する際には加熱することにより被膜を損傷することなく加工できることが確かめられた。しかし、今回の実験に用いたねじ鉄筋は、ねじ山の根本の立ち上がり半径が一般の異形鉄筋に比べて小さく、その部分の塗膜が厚くなり、曲げ加工の弱点となっていた。立ち上がり半径がもっと大きな横小異形鉄筋に、今回の供試体と同じ品質のエポキシ樹脂塗装を行なったもので同様な実験を行なったが、その結果、曲げ内半径4φの曲げ加工(残留歪12.5%に相当)を10℃で行なっても被膜は損傷しないことがわかった。従って、今後、ふしの形状の改良などを行なえば、今回の実験に用いたものよりもっと使用性の優れたエポキシ樹脂塗装ねじ鉄筋の製造が可能と思われる。

(実験Ⅱ) 両引供試体には図-2に示すようなひび割れが発生し、ひび割れ幅は 0.13mm から 0.20mm の範囲であった。促進試験終了後、継手部を取り出して観察したが、鉄筋表面はもとよりカップラー内部も全く腐食していなかった。よって、この継手工法の耐腐食性には問題がないと考えられる。

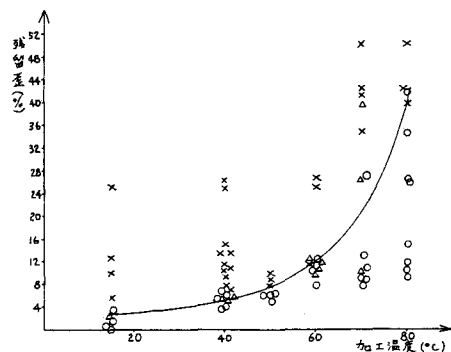


図-3 加工温度と冷間曲げ加工性の関係

○: 鉄筋20cmにピンホール1個以下の供試体
△: 局部的(1個/100mm以上)にピンホールが発生するが、錆の発生は見えない供試体
X: 一般(1個/100mm未満)にピンホールが発生し、錆の発生の可能性のある供試体

表-1 冷間曲げ加工を行なった鉄筋の載荷前後の欠陥

加工温度	加工後の残留歪%	載荷温度	欠陥の数/20cm	
			載荷前	載荷後
40℃	5.4	+8℃	2	5
	5.4	0℃	1	2
	5.8	-30℃	1	2
	3.9	-30℃	1	2
	3.6	-30℃	0	4
50℃	5.8	+15℃	1	1
	5.0	0℃	0	0
	5.0	-30℃	1	0
	5.8	-30℃	2	4
60℃	10.0	+15℃	4	4
	10.6	0℃	1	1
	11.3	-30℃	0	3
80℃	15.0	+15℃	0	0
	11.7	0℃	0	0
	12.1	-30℃	0	0

謝辞 実験に際し御協力いただいた、東北大学、板橋洋房助手、元4年生今井淑君に深く謝意を表します。