

© 1986 ISIJ

エポキシ樹脂塗装鉄筋

技術報告

三上尚人*・新井哲三*・白川 潔*・小山清一*

Epoxy-coated Bars for Concrete Construction

Naoto MIKAMI, Tetsuzo ARAI, Kiyoshi SHIRAKAWA and Seiichi KOYAMA

Synopsis:

Epoxy-coated bars have been developed to prevent the deterioration of concrete structures due to reinforcement corrosion. The properties of corrosion resistance, bendability without serious damages of coating, bond strength to concrete, resistivity to percussion and abrasion are required for the bars. To examine the bars, exposure test in marine environments, bend test, pull-out from concrete and trial execution were carried out.

(1) Epoxy-coated bars did not corrode in crack-induced concrete specimens which were exposed in marine environments for 3 years. (2) Epoxy-coated bars could be bent 180° with the radius of twice the diameter of the bars under the ordinary conditions of execution. (3) The reduction of the bond strength of epoxy-coated bars to concrete required 20% increase of lap joint lengths. (4) The bars embedded in concrete beams which were subjected repeated bending stress up to 38 kgf/mm² showed no degradation of coatings. (5) Cares for coating protection did not reduce the work efficiency of bending and construction of the bars in execution yard.

1. 緒 言

コンクリート構造物中の鉄筋が腐食することによってコンクリートにひびわれが生じ、その結果、かぶりコンクリートが剝落してしまう現象は、構造物の耐久性を著しく損なうことから構造物管理者が直面する大きな問題となつている。コンクリート中の鉄筋は元来、強アルカリ性の環境下にあつて不動態被膜に保護されている。しかし次のような条件が整つた場合には容易に腐食する。すなわちコンクリート構造物は材料配合、施工欠陥、供用条件、構造・外力などに起因してひびわれが生じる。いつたんひびわれが生じると、ひびわれ面に沿つてコンクリートの中性化が内部に向かつて進行し鉄筋面に到達する。ひびわれは鉄筋の腐食に必要な酸素や水分の供給路となるのであるが、そこに塩化物が存在するともはや不動態被膜は安定ではあり得ず鉄筋は腐食する。このとき生成する錆の膨脹圧が冒頭のかぶりコンクリート剝落の原因になるといわれている。ここでいう塩化物はもともとコンクリートに含まれているもの（以下、先在塩分と記す）でも外部から供給されるもの（以下、外来塩分と記す）でも鉄筋の腐食を助長することに変わりはない。

い。先在塩分は主として海砂を細骨材として用いることによつてもたらされる。したがつて学協会や関係官庁は海砂中の塩分含有量について各種の規制値を設けている。一方、外来塩分はひびわれの有無にかかわらず短期間に多量に蓄積するので、海砂よりはこれの影響のほうが大きいと考えられる。片脇らは海岸のプレストレストコンクリート構造物を調査した結果として、外来の塩化物によつて、コンクリートのひびわれが発生する以前に鋼材の腐食が進行したと報告している。これらのことは先に述べた、コンクリートのひびわれ→ひびわれ面の中性化と塩化物の作用、のような典型的条件が整わなくても鉄筋は腐食することを示している。したがつて海洋や道路凍結防止剤の影響を受ける地域に鉄筋コンクリート構造物を建設・維持する場合には、たとえ海砂の塩分規制やコンクリートのひびわれ制御が満足すべき結果であつても、塩化物による耐久性劣化を発生させる危険をはらんでいるといえる。このような問題に対処するため、日本コンクリート工学協会は「海洋コンクリート構造物の防食指針（案）」を作り、その中の第二種防食法（コンクリート以外のものによる防食）の一つとしてエポキシ樹脂塗装鉄筋を推奨している。また土木学会は同

昭和 60 年 11 月 22 日受付 (Received Nov. 22, 1985)

* 住友金属工業(株)総合技術研究所 (Technical Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1-3 Nishinagahondori Amagasaki 660)

Table 1. Coating materials for reinforcing bar.

Coating material	Composition		Gel time (s)	Elongation* (%)		Glass transition temperature (°C)
	Epoxy resin	Curing agent		0°C	10°C	
A	Bisphenol A type epoxy	Phenolic compound	25 (200°C) 17 (225°C)	4~6	—	95
B	Specified epoxy Reactive epoxy	High molecular phenolic compound	6 (200°C) 2~3 (220°C)	7	13	100
C	Bisphenol A type epoxy	Phenolic compound	16 (200°C) 10 (240°C)	18~22	—	101
D	Bisphenol A type epoxy	High molecular phenolic compound	15 (200°C)	9	10	87
E	Bisphenol A type epoxy	Aromatic amine	5 (200°C)	8	9	105

* Elongation of free film

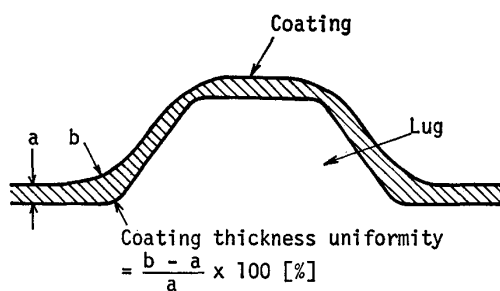


Fig. 1. Schematic diagram of longitudinal section of epoxy-coated bar.

鉄筋に関して設計施工指針(案)と品質規準(案)を作成している。

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、北米で凍結防止剤による道路橋床版などの鉄筋腐食の対策として1973年以来使用されており、すでにASTM A 775-81に規格化されている。国内では昭和52年以来、同鉄筋の開発が行われ、最近では実構造物への適用が進んでいる。ここでは主としてエポキシ樹脂塗装鉄筋の性能を他の鉄筋と比較して述べ、適用例についても紹介する。

2. 塗装鉄筋に要求される性能

2.1 耐食性

コンクリートは多孔かつ不均質な材料であるため、空気や海水などと接触すれば塩化物濃度が上昇すると同時に、各所に塩化物濃淡やアルカリ濃淡を生じる。たとえば鉄筋はアルカリ濃淡のある環境との間で濃淡マクロセルを形成し、濃度の小さい環境に接触する鉄筋面がアノードとなつて腐食することが確認されている²⁾。したがってエポキシ樹脂塗装鉄筋は塩化物はもちろん、不均一な環境をも遮断する強靱な塗膜を必要とする。また混練当初のポルトランドセメントコンクリートのpH値は約13であり、固化後は場所による不均一はあつても、おおむね高アルカリ性が維持されるので塗膜は耐ア

ルカリ性を具備しなければならない。

2.2 曲げ加工性

塗装鉄筋の曲げ加工性は曲げ直径、鉄筋温度、曲げ速度、塗膜厚、塗料の種類、素材となる異形鉄筋の形状や表面品質(へげやかぶれなど)の影響を受ける。これらの要因のうち曲げ直径と鉄筋温度は構造物の設計条件と施工条件に大きく影響するので重要視されている。

2.3 コンクリートとの付着性

鉄筋はコンクリートと一体となつて外力に抵抗するものであるから、エポキシ樹脂塗装鉄筋もコンクリートとの付着性が通常の異形鉄筋と比較して遜色ないことが要求される。

2.4 耐衝撃・耐摩耗性

塗装鉄筋は塗装された後、使用されるまでの間に受けるさまざまな衝撃や摩擦に高い水準で耐えることが望ましい。しかし塗膜は有機質であるので、その耐衝撃・耐摩耗性には限度があり、塗装鉄筋は裸鉄筋とはやや異なる取り扱いや施工が必要である。

3. 塗料

鉄筋用の塗料としては単位重量当たりの表面積が大きい対象を能率よく塗装する必要があることから、乾燥に時間がかかる溶剤希釈型の塗料では不適當である。これに対しエポキシ樹脂粉体塗料は被塗物に付着してから、熔融・被覆し硬化するまでの時間を短くすることができるので鉄筋用塗料として適している。ただし塗装鉄筋として特に要求される性能、すなわち曲げ加工性、耐衝撃・耐摩耗性及び膜厚均一性(異形鉄筋表面を均一な膜厚で被覆する特性、Fig. 1)を確保するためにはエポキシ樹脂、硬化剤、顔料などの種類と配合を限定することが重要である(Table 1)。

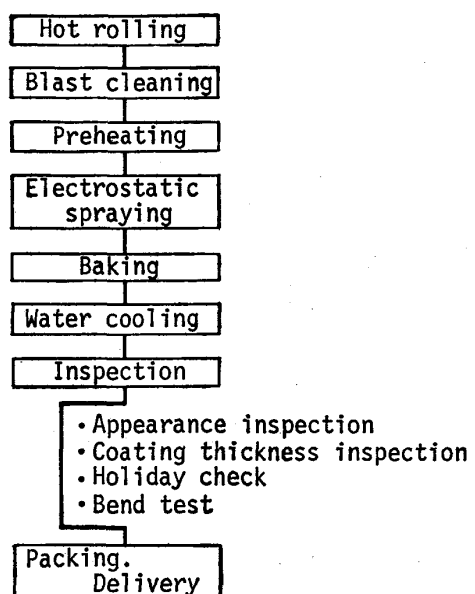


Fig. 2. Typical manufacturing process of epoxy-coated bar.

Table 2. Resistant properties of epoxy-coated bar to alkaline, and saline solution.

Bar (coating thickness) Test condition	Epoxy-coated (200 μm)	Galvanized (70 μm) + chromated
3M NaOH sol. 20°C, 365 days	Excellent	Zn layer dissolves out
Saturated $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sol. 20°C, 45 days	Excellent	—
3M CaCl_2 sol. 20°C, 45 days	Excellent	—
Artificial sea water 20°C, 365 days	Excellent	Corrosion of substrate starts
Artificial sea water with excessive cement, 20°C, 90 days	Excellent	—

4. 製造方法

エポキシ樹脂塗装鉄筋の製造工程の一例を Fig. 2 に示す。素材鉄筋の表面にへげ、かぶれ、へこみや不規則な変形などがあると、その箇所塗膜欠陥が生じ、さらには曲げ加工に際して塗膜をつき破る原因となるから、表面状態の良い素材鉄筋を選択することが重要である。小径の鉄筋では焼付けを必要とすることがある。これは塗装後の樹脂硬化に必要な熱量が予熱による保有熱で不足する場合の工程である。

5. エポキシ樹脂塗装鉄筋の性能

5.1 耐アルカリ性及び耐塩性

エポキシ樹脂塗装鉄筋をアルカリ性溶液、塩素イオンを含む溶液に浸漬した後、外観目視検査、JIS K 5400

に準拠する鉛筆引き試験及び若盤目試験、印加電圧短絡方式のピンホール試験を行った。その結果、エポキシ樹脂塗装鉄筋はいずれの溶液中でも塗膜のふくれ、軟化、素地との密着性の低下及びピンホールの発生はなかった (Table 2)。

5.2 コンクリート中での耐食性

KILARESKI³⁾ は塩素イオン濃度が 1.18 kg/m^3 (粗骨材を除いたコンクリート中では約 1000 ppm となる) になるとコンクリート中の鉄筋は活発に腐食するとしている。この程度の濃度は後述するように、海水飛沫を受けるコンクリートでは短期間で越えてしまうものであることがわかっている。このような外来、先在の塩化物に対するエポキシ樹脂塗装鉄筋の耐食性を評価するために行った暴露試験とその結果は次のとおりである。

5.2.1 試験方法

供試鉄筋は JIS G 3112 に定める SD30 D13 横ふし鉄筋と、これを素材としてエポキシ樹脂塗装 $200 \mu\text{m}$ 、亜鉛めつき $70 \mu\text{m}$ で被覆したものである。塗装鉄筋には長さ方向中央の 15 ふしの各ふしに 1 ふし当たり $1 \times 1 \sim 1 \times 4 \text{ mm}^2$ (平均 $1 \times 2 \text{ mm}^2$) の塗膜疵をつくり、その影響が調べられるようにした。この塗膜疵の大きさは、取り扱いやコンクリートの打設時に粗骨材との衝突によつて生じる塗膜疵の大きさを代表している。裸鉄筋は表面状態を一定にするため、ミルスケールを除いて供試した。

コンクリートの配合を Table 3 に示す。水道水練りコンクリートの他に、先在する塩化物を強調する目的で海水練りコンクリートも供試した。供試体形状は Fig. 3 のとおりである。一つの供試体には同一被覆の鉄筋をかぶり 2, 4, 7 cm となるように埋め込み、このような供試体を各供試鉄筋について作製した。水中で 30 日間養生した後、一部の供試体を除き、かぶり面を下側にし距離 30 cm の支点で支え、上方から集中荷重を加えてひびわれを導入した。これによつて各供試体のかぶり面に生じたひびわれ長さは 51~330 cm、最大ひびわれ幅は 0.1~3.0 mm である。

暴露環境は沖縄の海洋大気中 (海況の平穏なとき以外は海水飛沫がかかり台風時には波浪をかぶる) と海中である。ひびわれのない供試体は暴露後 2 年で回収し、ひびわれのある供試体は同 1, 2, 3 年で回収してそれぞれ調査を行った。

コンクリート中の塩素イオン濃度は次のようにして測定した。かぶり面より一定距離ごとに層別して採取したコンクリート片から粗骨材を除いて粉砕する。この粉末に 10 倍量の純水を加えて 6 h 振とう後、溶液中の塩素

Table 3. Concrete mix design and 28 days strength.

Design strength (kgf/cm ²)	Water* cement ratio (%)	Slump (cm)	Proportion by weight (kg/m ³)			28 days strength (kgf/cm ²)	
			Cement**	Fine aggregate	Coarse aggregate	Compression	Split
240	55	10±2	262	746	1190	246	25.2

* Tap water, sea water ** Portland cement

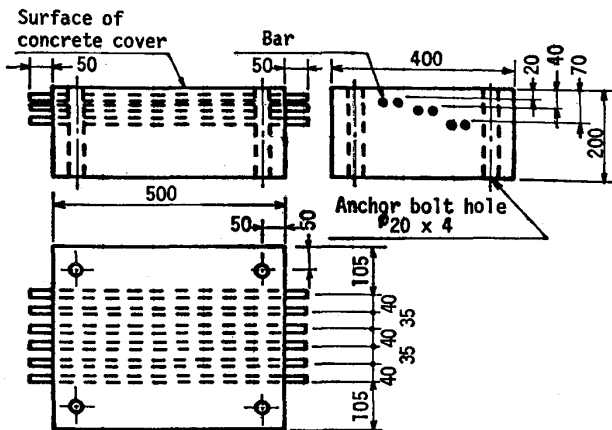


Fig. 3. Details of test specimen (mm).

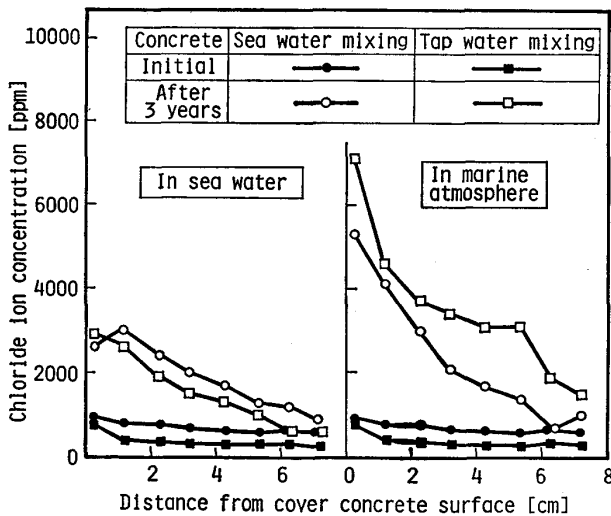


Fig. 4. Development of chloride ion concentration in concrete exposed for 3 years in marine environments.

イオンをクロラニル酸第二水銀比色法で定量する。また、ひびわれ面の pH は、粗骨材を避け厚さ 1mm 以内で削り落としたコンクリートを粉碎して試料とし、これに 2 倍量の純水を加えて pH 試験紙で測定した。

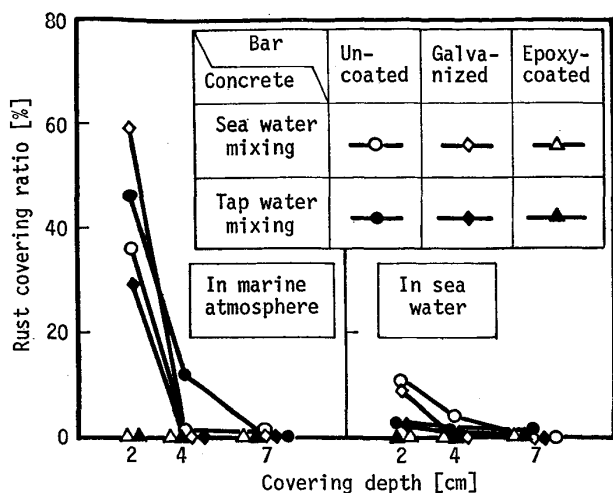
5.2.2 試験結果

ひびわれのない部分から採取したコンクリートの塩素イオン濃度を Fig. 4 に示す。未供試コンクリート中の塩素イオンは海水練りでは表層を除けば 800~600 ppm, 水道水練りでは 400~300 ppm であつた。海洋大気中

暴露した供試体は水道水練り、海水練りとも 3 年後にはかぶりの最も大きい鉄筋の位置でも 1000 ppm かそれを越える塩素イオン濃度であつた。海水中に暴露した供試体は水道水練りでは表面から 6 cm, 海水練りでは同 7 cm にまで外来塩素イオンの濃度上昇が認められた。

Fig. 5 にひびわれのない供試体中で 2 年間暴露した鉄筋の発錆面積率を示す。同図中でエポキシ樹脂塗装鉄筋は塗膜健全部の発錆面積率である。また亜鉛めつき鉄筋は白錆の発錆面積率を示している。エポキシ樹脂塗装鉄筋は混練水、かぶり厚、暴露環境のいかんにかかわらず発錆しなかつた。亜鉛めつき鉄筋は海洋大気中に暴露したかぶりの薄い鉄筋の白錆中に点状赤錆が認められた。裸鉄筋は海洋大気中に暴露した水道水練り供試体中の発錆面積率が海水練り供試体中のそれに比較して大きかつた。このことは先在塩化物に比較して外来塩化物の鉄筋への影響度が大きいことを示唆し、コンクリート構造物の塩害は外部から浸入する海水中の塩化物による、との建設省の見方⁴⁾と一致する。なお裸鉄筋は屋内で 14 か月間保管した海水練り供試体中ではまったく発錆していないのを確認した。したがって鉄筋の腐食は圧倒的に暴露環境の作用によると考えてよい。ひびわれのない供試体中の発錆の特徴はかぶり厚の影響を忠実に受けることである。これは環境の作用がかぶりコンクリートを通し、かぶり厚に応じて鉄筋に及んでいることを示している。鉄筋の赤錆を除くと素地は孔食状に腐食しており、ひびわれのない供試体中の裸鉄筋はかぶり厚 2 cm と 4 cm の一部にこれが生じていた (Fig. 6)。亜鉛めつき鉄筋にも孔食が認められ (水道水練り、かぶり厚 2 cm, 海洋大気中暴露)、その最大深さは 0.2 mm であつた。

ひびわれのある供試体では Fig. 7 に示すように、ひびわれ面の pH は経時とともに低下し、3 年後の値は pH 8.4~10.4 の間に分布する。これらの値は測定的手法上、ある厚さのコンクリートの平均 pH を示しているのであるが、ひびわれ面そのものはほぼ中性になつていると考えられる。このようにひびわれは pH の不均一をコンクリート内部にもたらす。ひびわれに露出する鉄筋面が中性の海水に接触し、その周辺の鉄筋面がコンクリートから溶出する水酸化カルシウムによつて高 pH



Symbols of galvanized bars indicate the white rust, 2 years exposure
 Fig. 5. Rust covering ratio of bars in crack free concrete.

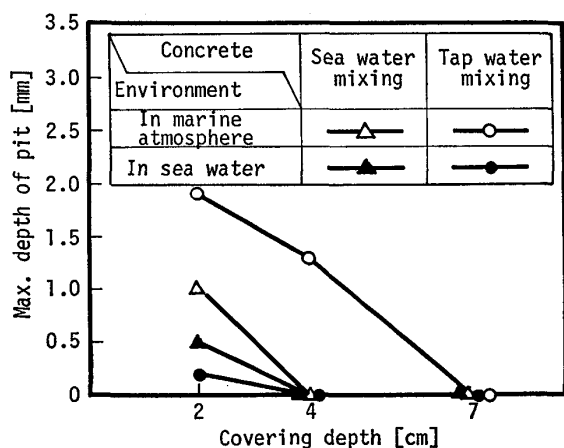


Fig. 6. Maximum depths of pits in uncoated bars embedded in crack free concrete. (2 years exposure)

化した浸透海水に接触すると、アルカリ濃淡マクロセルを形成し、ひびわれに露出する鉄筋面の孔食を促進する。この場合、一定面積のアノードに対するカソードの面積の比が大きくなると孔食速度も大きくなる。したがってたとえ塗膜欠陥があり、そこにひびわれが一致して素地鉄筋が腐食するときでも、その欠陥が取り扱いや骨材の衝突によつて生じる程度の小さいものである限り、カソード面積が広がるのを抑制する塗膜があるエポキシ樹脂塗装鉄筋は孔食速度が小さい (Fig. 8)。塗膜が健全なエポキシ樹脂塗装鉄筋はひびわれのあるコンクリート中で条件のいかにかわらず腐食しなかつた。亜鉛めつき層の寿命は海洋大気中のひびわれのあるコンクリート中では3年に満たず、素地鉄筋の孔食が進行した。海水中では亜鉛の腐食は海洋大気中に比較して緩慢であ

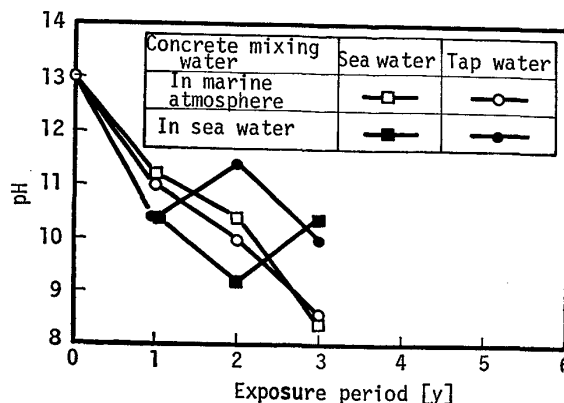


Fig. 7. Variation of pH in concrete crack surfaces.

Table 4. Loading condition and N_f of bars⁶⁾.

No.	Calculated stress intensity of bars (kgf/cm ²)		Number of cycles to failure N_f	Remarks
	Upper limit σ_b	Lower limit σ_u		
2	3 030	600	$1 186 \times 10^3$	Straight
3	3 380	670	$1 040 \times 10^3$	
4	3 870	770	152×10^3	
7	3 030	600	$1 010 \times 10^3$	Lap joint
13	3 030	600	210×10^3	Mechanical joint
14	3 380	670	233×10^3	
15	3 870	770	91×10^3	
16	2 760	540	743×10^3	

り、いまだ白錆に止まっていた。

5.3 繰返し曲げ荷重に対する性能

鉄筋がコンクリート梁中に使用された場合、繰返し曲げ荷重を受ける。このような動的負荷と腐食作用を同時に受けるエポキシ樹脂塗装鉄筋については ROPER⁵⁾ の報文中にとりあげられている程度で、十分な調査は行われていない。彼は繰返し荷重によつて鉄筋のふし近傍では局部応力が大きくなる可能性があり、これによつてふしの根元の塗膜が損傷すれば海水の存在下ではエポキシ樹脂塗装鉄筋の長期効果には疑問が生じると指摘している。このような指摘を検討するために、繰返し曲げ荷重を受けたエポキシ樹脂塗装鉄筋を調査した。

5.3.1 調査方法

エポキシ樹脂塗装鉄筋は塗膜厚 $180 \pm 50 \mu\text{m}$, JIS G 3112 に定める熱間圧延異形棒鋼 2 種 (SD 30) を素材としており、公称直径 22.2 mm, ふしの形状は横ふし及びねじふしである。幅 30 cm, 高さ 40 cm, 有効高さ 34.4 cm, かぶり 4.5 cm, 長さ 372 cm の矩形コンクリート梁中で繰返し曲げ荷重を受け、脆性破断することによつて梁を破壊した塗装鉄筋を調査した。コンクリート

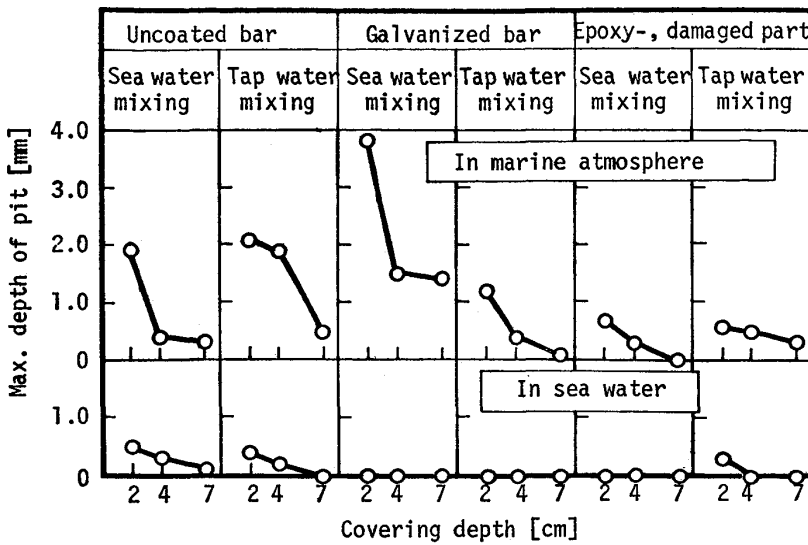


Fig. 8. Maximum depths of pits in bars embedded in crack-induced concrete. (3 years exposure)

梁中にある状態でのエポキシ樹脂塗装鉄筋の荷重条件と、破断するまでの繰返し数を Table 4 に示す。

5.3.2 調査結果

コンクリート梁から取り出した塗装鉄筋について引張試験を行つたところ、降伏点、引張強さは繰返し曲げを強く受けた部位（載荷点付近）と受けない部位（支点付近）とではほとんど変化がなかつた。これに対して伸びの平均値は載荷点付近、支点付近でそれぞれ 19.8%、22.9% であつた。この差を検定すると載荷点付近では危険率 1% で鉄筋伸びが減少するといえる。繰返し曲げによつて素材鉄筋のふしの根元に応力が集中し、それによつて局部的加工硬化やマイクロクラックが生じれば伸びは低下する。逆に上記のような伸びの減少から、繰返し曲げを強く受けた部位は疲労していると考えてよい。しかし、このような鉄筋部位にも ROPER が懸念するふしの根元の塗膜損傷は観察されなかつた。また土木学会が塗膜のピンホール試験方法として提案している 1000 V を印加したホリデーデテクターでは検出できるピンホールは存在しなかつた。撃芯径 12.7 mm、重さ 2 kg、落下高さ 0.5 m の条件で行つた落下衝撃試験 (ASTM-G14 準拠) では衝撃エネルギーによる塗膜切れは撃芯が直接衝撃した範囲に限られ、周辺に塗膜剝離やひびわれが生じることはなく密着力の低下も及んでいなかつた。さらに 4 本の塗装鉄筋の鉄筋軸を含む断面を顕微鏡観察したところ、50 倍の倍率下ではふし近傍の塗膜と素地鉄筋の双方にわれは認められなかつた。

以上のように、コンクリート梁中で許容応力より高い水準の繰返し曲げ荷重を受けた塗装鉄筋の塗膜は損傷していないのを確認した。

5.4 曲げ性能

エポキシ樹脂塗装鉄筋の曲げは、支点ローラー、力点ローラー及びテーブルをウレタン樹脂などで被覆した鉄筋曲げ加工機を使つて行う。曲げ速度 2~7s で 180° 曲げを完了し、曲げ部分の内外周の塗膜損傷程度を目視で評価する。たとえば土木学会の品質規準 (案) は鉄筋温度を 20±2°C、5±1°C としておのおの鉄筋径の 2 倍、3 倍の半径で曲げ、このときの塗膜のわれ、剝離及びうき等の発生頻度が 20% 以下であることを求めている。Table 5 は曲げ試験結果の一例であつて、鉄筋温度 5°C で鉄筋径の 2 倍の半径の 180° 曲げにはほぼ耐える塗料が得られている。

5.5 コンクリートに対する付着性能

日本コンクリート会議が推奨する引抜き試験方法で行つたエポキシ樹脂塗装鉄筋のコンクリートに対する付着性能を Fig. 9 に示す⁷⁾。ここで平均付着応力度 τ は鉄筋に加えられた引抜き力 P をコンクリートに埋め込まれた鉄筋の表面積で除した値で、次式で与えられる。

$$\tau = P / \pi \cdot d \cdot l$$

(d : 公称鉄筋径, l : 鉄筋埋込み長さ)

Table 5. Appearances of epoxy-coated bars after 180° bend (coating thickness 160~220 μ m).

Coating material	Substrate bar	Bending radius 2 x D			Bending radius 3 x D		
		0°C	5°C	10°C	0°C	5°C	10°C
A	α	○~●	○~●	○~●	○	●	●
	β	○	○	○	○~●	●	●
B	α	○	○	○	●	●	●
	β	○	○	○	○~●	○~●	●
C	α	○	○	○~●	○~●	○~●	○~●

○: No crack in coating ○: Hairline cracks
D: Nominal diameter of the bar 13~16 mm

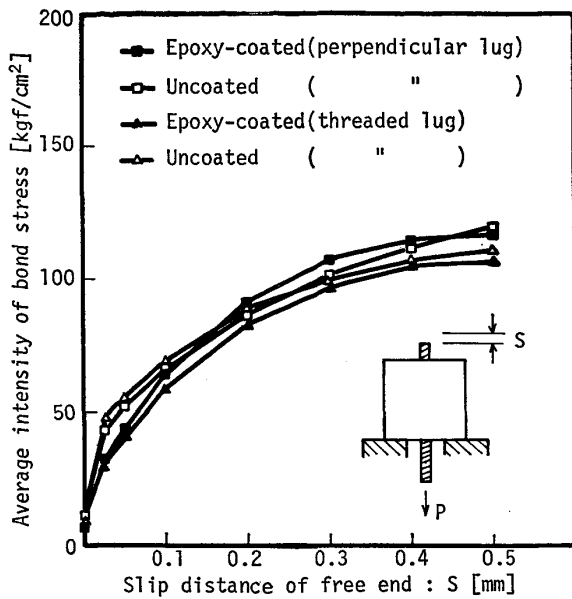


Fig. 9. Average intensity of bond stress and slip distance in the pull out test of epoxy-coated bars.

横ふし鉄筋、ねじふし鉄筋を素材とするエポキシ樹脂塗装鉄筋の平均付着応力度は、おのおのの裸鉄筋のそれに対してすべり量が 0.05 mm の初期すべり段階においては横ふし 0.85 、ねじふし 0.73 といずれも 1 以下である。エポキシ樹脂塗装鉄筋の初期すべり段階での付着力が低下することによつて梁部材では、ひびわれ幅やたわみ量が増加する傾向が認められるものの、その程度は実用上、問題にならないと考えられている⁹⁾。一般にひびわれ幅の増加は鉄筋の防食上好ましくないが、エポキシ樹脂塗装鉄筋がひびわれのあるコンクリート中で腐食しないことは既述のとおりであるので、構造物の耐久性に及ぼすマイナス効果は考えなくてよい。

5.6 施工性

エポキシ樹脂塗装鉄筋は適正に取り扱わないと塗膜欠陥が生じる。これを防ぐためには次の点に留意する必要がある。

クレーンで運搬する場合は綿またはナイロンの吊索を用いる。ワイヤーロープを使用するときはロープが直接、塗装鉄筋に接触しないように緩衝物(厚さ 2 mm 程度のゴム板など)を挿入すれば塗膜疵は生じない。

配筋時の運搬・取り扱いには慎重に行い、鋭利な角に当たらないように注意する。ただし作業者が塗装鉄筋上を歩行しても塗膜は損傷しないことが施工経験からわかっている。

鉄筋の切断にはカッターまたはシャーを用いる。この際、鉄筋の固定にはゴム板などを当て、塗膜を保護す

る。切断後は端面にすみやかに補修用塗料を塗り発錆を防ぐようにする。ガス切断を行うと切断面から左右各 $3 \sim 4 \text{ cm}$ の間の塗膜が炭化する。したがってガス切断は避けるほうが望ましいがやむをえず行つた場合には、炭化した塗膜をワイヤーブラシなどにより除去し、補修用塗料を塗布する。

ポンプあるいはバケットなどでコンクリートを打ち込む場合、打込み高さが高くなると骨材の衝撃エネルギーにより塗膜が損傷する懸念がある。実験によればコンクリートの打込み高さが 1 m 以下であれば塗膜に疵は生じない。打込み高さが 2 m 以上になると塗膜疵が発生し始めるものの、たとえば 2 m の場合、発生個数は鉄筋長さ 1 m 当たり $3 \sim 7$ 個で疵の大きさは $0.5 \sim 2 \text{ mm}^2$ と小さい。土木学会「コンクリート標準示方書」では打込み高さの最大値は 1.5 m と規定しており、この規準の範囲内であれば骨材の衝突による塗膜への影響はほとんどない。締固めに棒状の内面バイブレーターを用いる場合は塗膜に疵を与えないように注意する。コンクリート中では振動エネルギーがコンクリートに吸収されるため、バイブレーターが塗膜に接触しても塗膜の損傷は生じない。しかし気中で接触すると塗膜疵が生じることがあるのでバイブレーターにゴムライニングを施すなどの対策が必要である。

6. 適用例

道路凍結防止剤による床版などの劣化対策としてアメリカで使用されるエポキシ樹脂塗装鉄筋は年間 $55000 \sim 73000 \text{ t}$ (1982) 以上であるといわれている。日本では1981年、北海道開発局によつて海岸擁壁に初めて用いられて以来、現在までに適用件数は数十件に及んでいる。国内でエポキシ樹脂塗装鉄筋が使用される理由は少数の例(浄水中の塩素、化学工場の硫酸等への対策)を除けば国情を反映して海塩の影響への対策である場合が多い(Table 6)。道路凍結防止剤対策としての塗装鉄筋に対する関心は積雪地帯での高速道路の建設距離が延伸するにしたがつて高まると考えられるが、現在のところ適用件数は少ない。

エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用したPC橋の施工報告⁹⁾によると、無塗装鉄筋を塗装鉄筋に変更したために生じた設計変更は重ね継手長さだけであり、この場合コンクリートの付着強度を無塗装鉄筋の 80% として算出した値を採用している。またエポキシ樹脂塗装鉄筋の組立て作業はその取扱いに5.6で述べた点に注意した以外には無塗装鉄筋と差異はなく、現場における加工・組立て歩掛は工場で必要長さに切断して塗装した鉄筋については

Table 6. Application examples of epoxy-coated bars.

Structure	Environmental condition	Bar size	Execution
Sea-side road bridge (main girder, cross beam, floor slab)	Upper splash zone ~ Marine atmosphere (Hokkaido)	D13, D16, D19 D22	1984. 7~1985. 4
Clear-water driving tunnel (wall)	Chlorinated water (Wakayama)	D13, D16, D19 D22	1984. 2~1985. 8
High-way bridge (floor slab)	Deicing salt (Akita)	D13, D16, D19 D22	1984. 9~1985. 4
Gas-pipe supporting block	Tidal zone (Osaka)	D16, D25	1983. 6
Sea-side road shield (wall & roof)	Upper splash zone ~ Marine atmosphere (Hokkaido)	D13, D16, D19 D25, D29	1983. 7
Tank supporting tower	Sulfuric acid (Ehime)	D10, D13, D16	1984. 6~1985. 5

昭和 58 年度建設省 PC 橋標準歩掛とはほぼ同じであつたとしている。

7. 結 言

エポキシ樹脂塗装鉄筋はこれまでにその耐食性が確認され、今後コンクリート構造物の塩害対策として広く普及するものと期待される。しかし開発が一段落したかに見えるエポキシ樹脂塗装鉄筋ではあるが、従来のコンクリート技術の分野へ円滑に適用するためには次のような利用技術の検討が続けられるべきである。

まず目視可能な塗膜欠陥が実用上どの程度有害であるかを十分な実験によつて検証することが必要である。許容できる塗膜欠陥の数と大きさを決めることができれば、欠陥の発生原因である加工や施工のうえで得るところがある。また服部ら⁹⁾が指摘しているように鉄筋組立ての際の強い固定方法の開発が必要である。国内では重要な構造物の多くが海岸に建設される。それらの構造物のなかには複雑かつ精密な、それゆえ強固な鉄筋の組立てを要求されるものがある。エポキシ樹脂塗装鉄筋に裸鉄筋でよく用いられるスポット溶接による固定方法を適用することは、塗膜を焼損させて補修塗装の手間を増や

すので不適當である。したがつて、それに代わる耐食性固定金具のようなものが工夫されてもよい。さらに、腐食環境下で動的負荷を受けるコンクリート構造物中のエポキシ樹脂塗装鉄筋に関しては、評価データが少ないことから今後この方面の研究が進展することが望まれる。

文 献

- 1) 片脇清土, 山内幸裕: 土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部 (1982), p. 268
- 2) 築貫義人, 三上尚人, 新井哲三, 山崎 章: 第 7 回コンクリート工学年次講演会論文集 (1985), p. 100
- 3) W. P. KILARESKE: *Mat. Perform.*, 19 (1980) 3, p. 48
- 4) 小林茂敏: 土木学会誌, 70 (1985) 11, p. 18
- 5) H. ROPER: *Corrosion*, 83 (1983), Paper No. 169
- 6) 太田利隆, 服部健作, 福井 晃: 土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部 (1984), p. 72
- 7) 新井哲三, 白川 潔, 三上尚人, 小山清一, 山崎章: 住友金属, 36 (1984), p. 269
- 8) 小林一輔, 伊藤利治, 武若耕司: *コンクリート工学*, 21 (1983) 2, p. 99
- 9) 服部健作, 川崎博巳, 豊田義明: *コンクリート工学*, 23 (1985) 6, p. 54