

[22] エポキシ塗装鉄筋の力学的特性に関する 2, 3 の実験

正会員 ○小林 茂敏 (建設省 土木研究所)

正会員 片脇 清士 (建設省 土木研究所)

森浜 和正 (建設省 土木研究所)

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造は本来、耐久性の優れた構造ではあるが、海洋や海浜等のコンクリート構造中の鋼材にとっては非常に苛酷な環境においても重要な構造物が建設されるようになってきている現在、構造物の塩分に対する耐久性をより向上させることが急務となってきている。

海洋環境における鉄筋コンクリート構造物の鋼材の腐食に対する耐久性を向上させるための方法としては、①ひびわれを小さくし、コンクリートの品質を高めること、②かぶりを十分に厚くすること、③部材にコーティングを行い塩分等の腐食物質の進入を止めること、④防食加工をした鉄筋を用いることなどがある。

本報告は、コンクリート中の鋼材の防食処理の方法として、その発展が期待されている樹脂塗装鉄筋の曲げ加工性、コンクリートとの付着性状、ひびわれ性状について検討したものである。

2. 使用材料

(1) 塗装鉄筋

鉄筋は、公称直径19mmの異形鉄筋(SD-30横フシおよび斜フシ)を用いた。鉄筋の機械的性質は表-1のとおりである。

塗料は表-2に示したように、エポキシ樹脂4種類、無機ジシクリッチ1種の計5種類を用いた。

塗装鉄筋の製作は、下地処理としてサンドブラストを行い、粉体塗料については静電焼付塗装、スラリー状塗料については湿式粉体塗装、溶剤型塗料についてはエアスプレーによった。塗膜厚およびピンホール数を測定した(表-2)。

表-1 鉄筋の機械的性質

鉄筋の種類	フシ形状	降伏点 kg/mm^2	引張強さ kg/mm^2	伸び %
SD30-D19	横 フシ	34.8	54.6	2.0
"	斜 フシ	38.5	59.4	2.1

(2) コンクリート

塗装鉄筋とコンクリートとの付着性状、ひびわれ性状を調べるための供試体用コンクリートの配合は表-3のとおりである。

表-2 塗 料 の 種 類

塗 料 の 種 類					塗料物性試験値 JIS K 5400		塗膜厚(μ)		* ピンホール数
	樹脂主剤	硬化剤	樹脂の形状	塗装方法	硬度(0℃)	こはん目付着性	目標値	実測値	
A	エポキシ樹脂	酸無水物	粉体塗料	静電スプレー塗装	H(2H)	100/100	150 250	130~200 220~390	△ ○
B	"	"	"	"	2H(3H)	100/100	150	170~190	×
C	"	特殊硬化剤	"	"	H(H)	100/100	150	150~190	×
D	"	イソシアネート	スラリー状塗料	湿式粉体塗装	3H(3H)	100/100	150	170~200	×
E	無機ジシクリッチ	アルカリシリケート	溶剤型塗料	エアスプレー	4H(4H)	100/100	150	140~150	×

* 1 m当りのピンホール数 ○ 0~5
△ 20以内
× 多数

表-3 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法 mm	スランプ cm	空気量 %	W/C %	s/a %	単 位 量 kg/m^3					圧縮強度 kg/cm^2
					W	C	S	G	混和剤 cc/m^3	
20	8	5	60	3.9	165	275	718	1140	55	30.5

3. 鉄筋の曲げ試験

3.1 目的

鉄筋を曲げ加工する際には、鉄筋の外縁部は大きく伸ばされ、逆に内縁部は圧縮されるが、塗装した鉄筋でこのような加工を行なうと塗装のひびわれや剝離の心配がある。また、樹脂塗料には熱依存性があり低温ではガラス化し、もろくなることもあるので、樹脂塗装を行った鉄筋を示方書類に定められた曲げ半径で曲げることができるかどうか、また温度などの影響はどうかということについて調べた。

3.2 試験方法

鉄筋の公称直径の2倍、3倍及び4倍の半径のディスクを有するベンダーを使用し、おのこの巻付け法によって、まず、曲げ角度90°まで曲げた（曲げる際の軸は鉄筋断面のリップを結ぶ線とした）。そこでわん曲部の外縁（または内縁）のフシ間の塗膜のひびわれ発生の有無を調べ、異常がなければ135°、180°まで順次曲げた。

以上の一連の試験作業は0℃、10℃、20℃に保った恒温室内において行い、塗膜温度は塗装面に貼った熱電対により確認した。塗膜硬さは(JIS K 5400)によって各温度について試験した。

試験に用いた鉄筋は、横フシのD19に塗膜厚さ150μの塗装を行なったものである。

3.3 試験結果

試験結果は表-4のとおりである。

塗料A、Bは温度による影響が大きく、温度が低くなるにつれて曲げ加工性が低下し、確実に曲げ加工ができたのは20℃で曲げ内半径4Dのときであった。また微少なひびわれを許しても20℃で3D程度の曲げ内半径しかとれなかった。

Cは温度0～20℃の範囲では影響はさほど見受けられず、全般的に良好であり、微少なひびわれを許せばこの温度範囲では2Dで曲げることも可能であった。

D、Eは曲げ半径や温度に関係なくすべての塗膜が剝落し、とくにDはバリバリ音をたてて塗膜が飛散し、この程度の曲げ内半径では常温でも曲げ加工はできないことがわかった。

3.4 結論

低温でも曲げ加工性のよかったCと、低温では加工性の悪かったA、Bとの塗料の特性の違いは、Cは硬度が試験を行なった0℃の低温でも変化していないことである（表-2）。A、Bの硬度は、低温では硬くなってもろくなったため、曲げ加工性が低下したものと思われる。常温でも曲げ加工の出来なかったC、Dの硬度は常温でも3H以上となっている。

今回の試験から、硬度と可能な曲げ内半径との関係はおおよ次のようになっているといえよう。

硬度H——曲げ内半径2Dで加工可能

硬度2H——曲げ内半径4Dで加工可能

硬度3H以上——曲げ加工に向かない

また、温度条件と可能な曲げ加工の関係は、加工時の温度が上記硬度のどれになっているかで定まる。0℃で曲げ加工を行なうことはかなり厳しいことではあるが可能な材料もある

表-4 曲げ加工試験結果

曲げ半径	温度	A	B	C	D	E
2D	0℃	△c	×	△a	×	×
	10℃	△c	△a	○	×	×
	20℃	△a	△a	△a	×	×
3D	0℃	×	△c	○	×	×
	10℃	△c	○	△a	×	×
	20℃	△a	△a	○	×	×
4D	0℃	△a	×	○	×	×
	10℃	○	△a	○	×	×
	20℃	○	○	○	×	×

塗膜 異常なし ○ 曲げ角度180°でひびわれ発生
 " ひびわれ発生 △ " 135° "
 " はくり × " 90° "



写真-1 塗膜のひびわれ

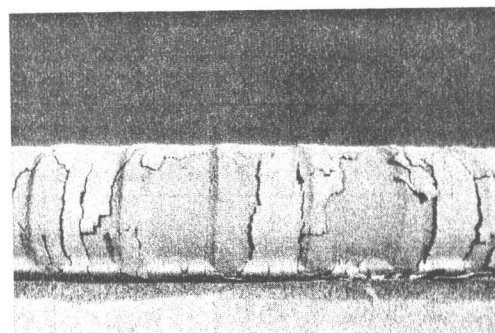


写真-2 塗膜のはくり

ことは、寒冷地における塗装鉄筋の現場加工も不可能ではないことを示し広範囲な地域における実用化が期待される。

なお、鉄筋の曲げ加工後に塗装を行うような施工法をとれば、曲げ加工性に関しては問題とならないことは言うまでもない。

4. 引抜き試験

4.1 目的

塗装鉄筋のコンクリートに対する付着強度は、鉄筋とコンクリートとの間にやわらかい樹脂が存在するため低下するおそれがある。横フシの塗装鉄筋についてはすでに実験報告があるが、斜フシの異形鉄筋は横フシの鉄筋よりすべり量が大きく、付着強度は小さいため、斜フシを塗装鉄筋とした場合の付着強度の低下についても知っておく必要がある。よって横フシと斜フシの樹脂塗装鉄筋について、その付着特性のちがいを調べるために以下のことを行った。

4.2 試験方法

(1) 供試体の製作

供試体は一辺15cmの立方体で、付着応力度の均等化をはかるため荷重端から5cmの間をボンドレスとし、鉄筋の埋込み長さを10cmとした。コンクリートの打込み方向は、鉄筋の引抜き方向に平行とした。なお、コンクリート部の割裂を防ぐためらせん鉄筋による補強を行なった。

(2) 引き抜き試験方法

引き抜き試験はJIS案に準じて行ない、載荷速度は鉄筋の応力度が毎分約500kg/cm²づつ増えるようにとった。すべり量の測定は鉄筋の自由端に1/1000mmダイヤルゲージを取付けて行なった(図-1)。また、引抜き試験終了後は塗装鉄筋定着部の目視観察を行なった。

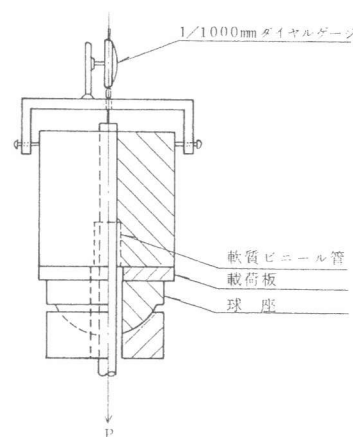


図-1 引抜き試験方法

4.3 試験結果

引抜き試験の結果は表-5に示すような値となった。表中の付着応力度とは、鉄筋の自由端のすべり量が鉄筋径の0.002倍である0.038mmに達したときの平均付着応力度である。最大付着応力度とは、最大荷重時における平均付着応力度である。図-2はそれぞれの応力状態時の付着応力度と無処理の横フシ鉄筋の付着応力度との比率を表わしたものである。

表-5 付着応力度

塗料の種類	塗膜厚 μ	付着応力度 kg/cm^2		最大付着応力度 kg/cm^2	
		横フシ	斜フシ	横フシ	斜フシ
A	150	7.2	7.0	17.0	19.1
	250	6.0	6.0	15.9	18.4
B	150	9.1	7.5	18.0	19.1
C	150	7.1	6.3	17.4	17.9
D	150	7.1	7.0	18.2	19.2
無処理	—	9.9	7.8	19.3	19.0

注) 供試体3個の平均値で示した。

4.4 結論

実験の範囲での結果ではあるが次のようなことがいえる。

- (1) 塗装鉄筋の付着性能は無処理鉄筋よりも低下する。付着応力

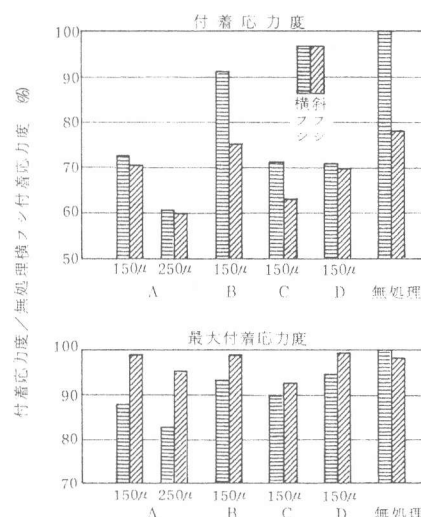


図-2 付着応力度比

度は塗膜厚が 150μ の場合は無処理の横フシ鉄筋に対して横フシ $92\sim 71\%$ 、斜めフシ $76\sim 64\%$ である。

(2) 斜フシ鉄筋は無処理鉄筋でも横フシ鉄筋の 80% 程度の付着力である塗装後の付着応力度はそれ自身の $96\sim 80\%$ で低下率は横フシ鉄筋よりも少ない。

(3) 塗膜が厚くなれば付着応力度は小さくなる傾向がある。

(4) 最大付着応力度は無処理鉄筋では横フシ、斜めフシ共、同じような値を示すが、塗装後は横フシ鉄筋が平均 91% 、斜め鉄筋 99% で、横フシ鉄筋の方が低下率が大きい。ただし付着応力度に比べれば両者共、低下率は小さい。これは最大付着力は鉄筋表面の付着力よりもフシのかみ合に支配されるためと考えられる。

5. 両引き試験

5.1 目的

塗装鉄筋の塗料は、鋼材やコンクリートに比べて軟かいので繰返し荷重を受けているうちにひびわれ部の塗装が切れたり、骨材などのすり合わせて傷がつく心配がある。これに対してそのようなことはないという実験報告²⁾もあるが、試験方法を変えても同様な結果が得られるか、また、試験直後に見たときは異常がなくとも、実際に自然に曝露した場合にはどうなるかを調査した。ここでは曝露するまでの経過を述べる。

5.2 試験方法

$10\times 10\times 100\text{ cm}$ のコンクリートの中心に長さ 130 cm のD19鉄筋を埋込んだもの(かぶり 4 cm)を供試体とし、この供試体を両引き載荷した。供試体は表-5に示すすべての鉄筋について作成した。

載荷方法は鉄筋SD30の許容応力度である 1800 kg/cm^2 まで静的載荷を行った後、疲労載荷試験を行った。疲労載荷は、上限は鉄筋の許容応力度で振幅 1500 kg/cm^2 載荷速度は 7 Hz の正弦波で30万回行った。試験終了後、コンクリートのひびわれ間隔、ひびわれ幅の測定を行った。ひびわれ幅の測定にはコンタクトストレーンゲージを使用した。さらにコンクリート内の塗装鉄筋の傷の発生の有無をひびわれに電導性のある液体を注入し、電気抵抗を測定することによって調べた。また、一部の供試体については測定終了後、はつり調査を行った。

5.3 試験結果

塗装鉄筋を用いた場合には鉄筋の腐食の観点から、ひびわれ幅などは問題にならないかもしれないが、付着特性を知るための参考値としてひびわれ幅を測定した。鉄筋の許容応力時の平均ひびわれ間隔は無処理鉄筋が 15.0 cm に対し塗装鉄筋は $15.6\sim 17.0\text{ cm}$ となり、ひびわれ幅は無処理鉄筋が 0.13 mm に対し塗装鉄筋は $0.14\sim 0.15\text{ mm}$ となった。疲労載荷前後のひびわれ幅の増加は $0.01\sim 0.02\text{ mm}$ であった。

載荷試験中に塗装が切れるかどうかを知るために鉄筋とコンクリート表面との電気抵抗を測定した結果、ピンホールなどの多少により $20\sim 1600\text{ K}\Omega$ にばらついたが載荷後もほとんど変化はなく塗装が切れることを示さなかった。また試験後の供試体の一部は鉄筋をはつり出してみたが、ひびわれ部分においても塗装は切れていなかった。

5.4 あとがき

塗装鉄筋をコンクリート部材に使用した場合、ひびわれ間隔及び幅が無処理の場合に比べて約 10% 程度大きくなったが、鉄筋の許容応力度程度の応力度で30万回の繰返し荷重を行っても、塗装が切れたりするようなことはなかった。曝露試験は茨城県海岸の干満部で6年計画で曝露中であり、その結果で、耐食性の確認を行なう予定である。

(参考文献) 1) 片勝他:エポキシ樹脂塗装鉄筋の利用に関する基礎的研究,日本コンクリート工学協会第1回年次講演会(1979)

2) 武若他:エポキシ樹脂被覆鉄筋を使用したRC梁の曲げ性状,日本コンクリート工学協会第2回年次講演会(1980)