

論文

[1131] コンクリート中のエポキシ塗装鉄筋の効果

正会員○等 俊一 (新日本製鐵鉄鋼研究所)

吉田耕太郎 (新日本製鐵鉄鋼研究所)

正会員 鳥居和之 (金沢大学土木建設工学科)

正会員 川村満紀 (金沢大学土木建設工学科)

1. まえがき

海岸付近などの塩分の影響をうけるコンクリート構造物では、塩害による鉄筋の腐食の事例がしばしば見られる。塩害による鉄筋腐食の防止対策としては、日本コンクリート工学協会「海洋コンクリート構造物の防食指針(案)」(JCI-R1)にまとめられているが、鉄筋に樹脂塗装を施す方法(以下エポキシ樹脂塗装鉄筋と称する)が実用的なものとして推奨されている。エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐防食性は、鉄筋の素地処理、塗料品質、塗膜の厚さおよびピンホールの有無などによって相違するので、実際の環境下での長期にわたるエポキシ樹脂塗装鉄筋の耐防食性の確認が必要であるが、この方面でのデータの蓄積は比較的少ないように思われる。

本研究では、エポキシ塗装樹脂鉄筋を用いたコンクリートブロックを北海道、沖縄、および神奈川の3地域に暴露し、1年[1]、3年[2]および5年[3]の材令にてコンクリートのひびわれおよび鉄筋の腐食状況を観察している。ここでは、暴露5年におけるコンクリートのひびわれ調査、塩分含有量の結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 配合および暴露条件

- (1) 配合および試験体作成条件は土木学会の定める指針(案)[4]に準じて作成した。配合を表-1に、試験体の形状を写真-1に示す。
- (2) 暴露条件は暴露地を凍結・融解作用のある北海道紋別、亜熱帯域の沖縄屋我地島、および神奈川県相模原の3地点とし、相模原では鉄筋の腐食を促進するために1回/1日、5%の食塩水を散布した。試験体はいずれも写真-1に示す方向で設置した。
- (3) 塗膜の効果、塗膜傷の影響を見るために、鉄筋には裸、エポキシ塗装(膜厚:80、180、280、380 μ m)および塗膜に予め人工傷をほどこしたものを使用した。

表-1 コンクリートの配合表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメ ント比 (%)	単 位 量(kg/m ³)				
		水 W	セメント C	細骨材 S (海砂)	粗骨材 G (山碎石)	食塩
15	50	159	310	810	1093	25

2.2 調査方法

- (1) コンクリート表面のひびわれ分布の観察

コンクリート表面のひびわれ分布を目視により観察した。

(2) コンクリート表面のひびわれ状況の調査

コンクリートブロックのひびわれを画像解析装置（日本アビオニクス社、TVIP-4100）により測定した。CCDカメラにより取り込まれた画像は自動2値画像を一部手修正し、コンクリート面のひびわれ長さ、ひびわれ幅およびひびわれ本数を測定した。ひびわれ本数を求めるに当たってはひびわれ2値画像の分断を行った。

以下に定義する測定項目をひびわれの指標として調べた（供試体の各面に図-1に示すような記号を付けた。なお、ひびわれの解析はAおよびB面の2面を対象とした）。

- 平均ひびわれ幅：A、B両面の平均値
- 最大ひびわれ幅：A、B両面の最大値
- ひびわれ総本数：A面のひびわれ本数
+ B面のひびわれ本数
- ひびわれ総延長： Σ （ひびわれ長さ）

(3) 中性化深さの測定

コンクリートブロックを鉄筋の先端部分で割裂した断面に対して、1%フェノールフタレイン溶液（溶媒エチルアルコール）を噴霧し、コンクリート表面からの中性化深さおよび鉄筋周囲の呈色状況を調べた。

(4) 鉄筋の腐食状況

中性化深さの調査位置での鉄筋の腐食状況を港湾コンクリートの劣化防止・補修に関する技術調査報告書（S.62年9月、沿岸開発技術センター）によって評価した。

(5) 塩分の含有量

コンクリートブロックの表面部分（表面から深さ1cmまでの部分）および内部（深さ1cmから2cmまでの鉄筋近傍の部分）の全塩分量（塩分量はNaCl換算値として示す）をコンクリート工学協会「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法」（JCI-SC5）にしたがって電位差滴定法（京都電子工業㈱PT-02）により測定した。

3. 調査結果および考察

3.1 コンクリート表面のひびわれ分布の観察

裸鉄筋を埋設した試験体のコンクリート表面のひびわれ状況を写真-2に示す。この写真から明かなように、幅の広いひびわれが埋設した鉄筋に沿って走っている。この現象は3つの暴露場所にはほぼ共通して見られる。ひびわれ幅の大きい箇所ではコンクリートが剝離し、内部に腐食した鉄筋が現れる試験体も見られた。

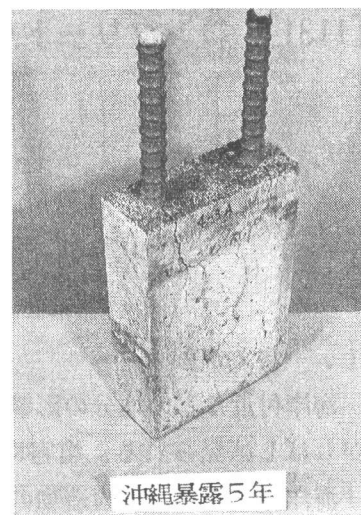


写真-1 試験体の形状

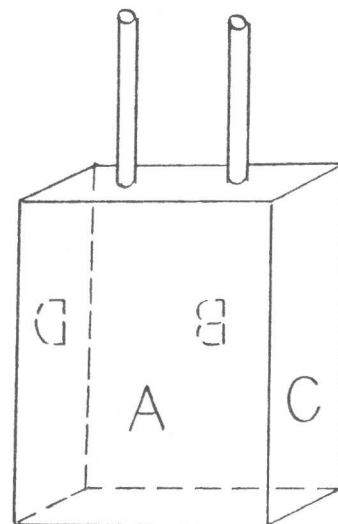


図-1 ひびわれ調査面

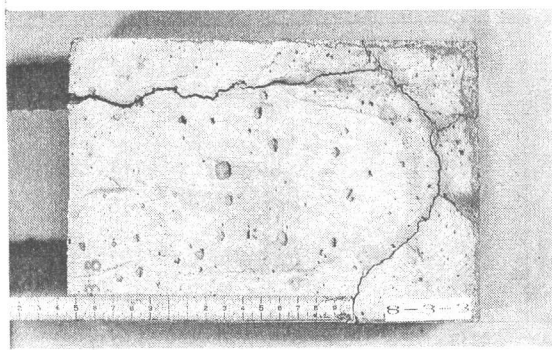


写真-2 ひびわれ状況 (裸鉄筋)

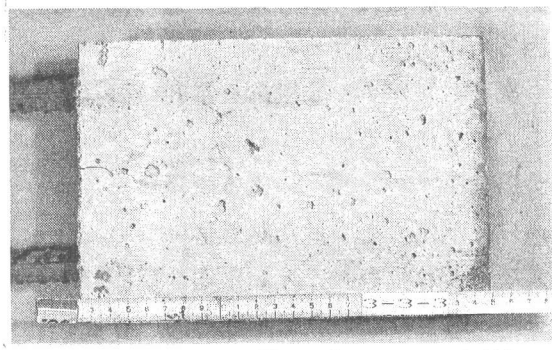


写真-3 ひびわれ状況 (エポキシ塗装)

一方、エポキシ塗装鉄筋を埋設した試験体のコンクリート表面のひびわれ状況を写真-3に示す。この写真に見られるようにコンクリート表面には微細なひびわれが分布している。その形状は網目状であり、裸鉄筋の試験体に見られるような埋設した鉄筋の形状とは無関係に分布している。ただし、紋別暴露の塗膜厚80 μm 、相模原暴露の塗膜厚80、380 μm では環状のひびわれが目だってきていた。

以上のことから、裸鉄筋の試験体に発生した顕著なひびわれはその線形が埋設した鉄筋に沿って発生していることと鉄筋の著しい腐食が見られることから、鉄筋が腐食膨張して生じたものと推定される。

3.2 コンクリート表面のひびわれ状況

裸鉄筋と各種膜厚のエポキシ塗装鉄筋の試験体についてひびわれ状況を最大ひびわれ幅で分類すると図-3のようになる。裸鉄筋の試験体の最大ひびわれ幅は紋別<沖繩<相模原の順に大きく、エポキシ塗装鉄筋のそれとの差を明確にわけている。エポキシ塗装鉄筋の試験体の最大ひびわれ幅は塗膜厚による差がなく、暴露環境の差異も不明確である。

この理由は裸鉄筋の場合、相模原では塩水を散布していることもあって腐食環境の厳しさは紋別<沖繩<相模原と考えられ、最大ひびわれ幅の大きさが鉄筋の腐食によって起因するものと推定できる。

一方、エポキシ塗装鉄筋の試験体では鉄筋の腐食がエポキシ塗装によって抑えられておりコンクリートのひびわれにはあまり影響していないと推定される。しかもほとんど試験体で微細な網目状のひびわれが観察されることから、この種のひびわれが鉄筋腐食の影響よりも屋外暴

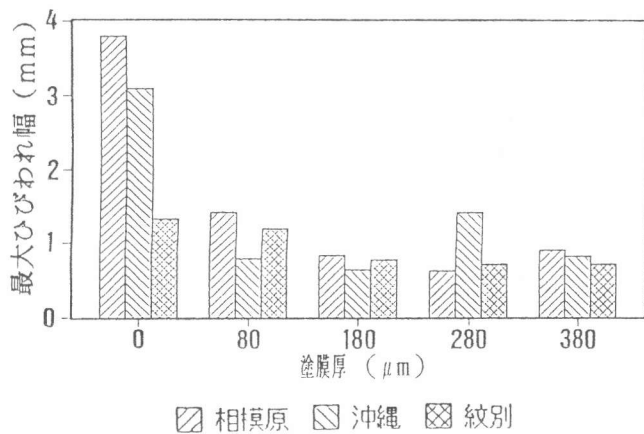


図-3 最大ひびわれ幅と塗膜厚との関係

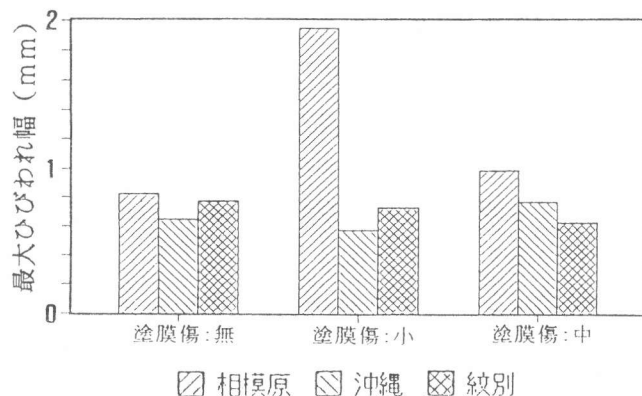


図-4 最大ひびわれ幅と塗膜傷との関係

露による乾湿繰り返しなどの環境因子に因るものと推定される。

次に、エポキシ塗膜に人工的に傷（中：ナイフによる長さ10mmのスクラッチ傷、小：ハンマーによる直径0.3mmの打撃傷）をつけた試験体について最大ひびわれ幅を図-4、平均ひびわれ幅を図-5、ひびわれ総本数を図-6、ひびわれ総長さを図-7に示す。ひびわれ幅に若干のばらつきがあるものの、塗膜傷の有無、暴露地の差についていずれの分析値も差異が無い、またこのことはひびわれ総本数、ひびわれ総長さについても言える。

この結果はひびわれ分布の観察結果とほぼ同様である。即ち、塗膜に微細な傷が生じても、傷部の腐食は小さく、コンクリートへ新たなひびわれを生じさせる程ではないため、傷が無い場合と同様にエポキシ塗装鉄筋の防食効果が損なわれないことを示している。

3.3 コンクリートの中酸化深さ

エポキシ塗装鉄筋を含む断面では写真-4に示す様にひびわれ深さが中酸化深さとなって表わされており、その深さは一部鉄筋深さに達しているものの、鉄筋表面は着色が見られ、この部分のコンクリートが健全であることを示している。一方、裸鉄筋では写真-5に示すようにひびわれが鉄筋表面にまで達し、鉄筋が腐食していることがわかる。

3.4 鉄筋の腐食状況

中酸化深さの観察破面での鉄筋の腐食状況を表-2に示す。エポキシ塗装鉄筋においても薄膜厚、および相模原暴露で

は塗膜に傷を付けた試験体と同様にエポキシ塗装鉄筋全周にわたって鉄筋の錆が観察された。この結果はひびわれ分布の観察において一部試験体の網目状ひびわれが環状に目だってきたことに関連があるように見える。即ち、エポキシ塗装鉄筋を埋設した試験体の網目状ひびわれには、環境因子によるものと鉄筋の腐食によって発生するひびわれが混在していることが考えられる。残念ながら、今回の画像解析によるコンクリート表面のひびわれ状況の分析からは

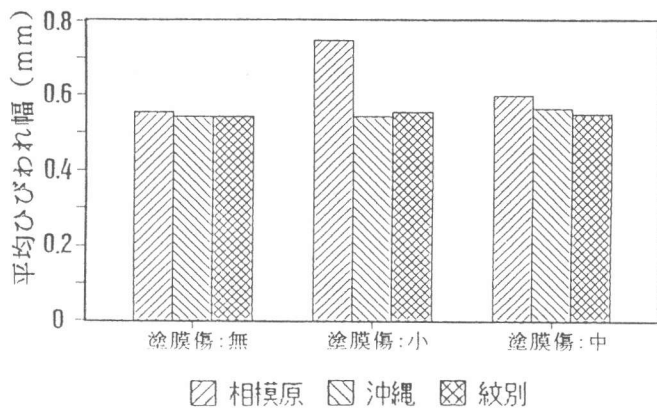


図-5 平均ひびわれ幅と塗膜傷との関係

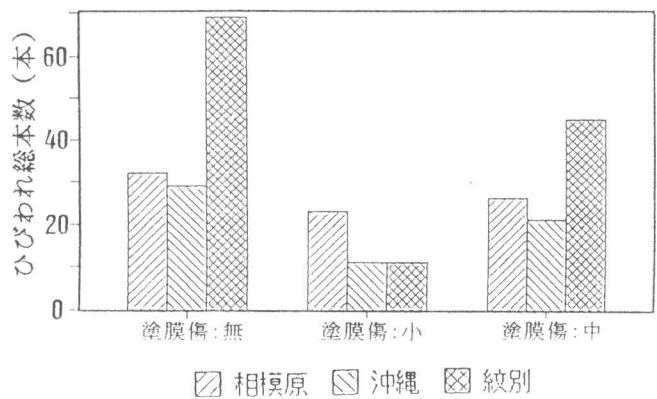


図-6 ひびわれ総本数と塗膜傷との関係

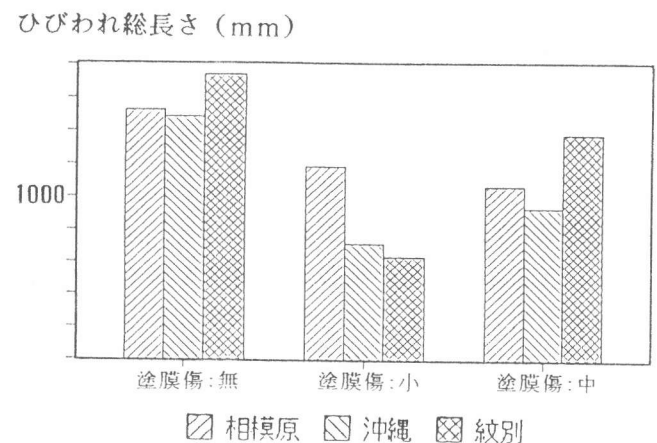


図-7 ひびわれ総長さと塗膜傷との関係

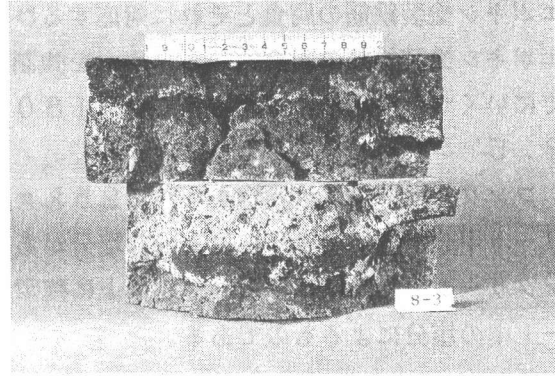
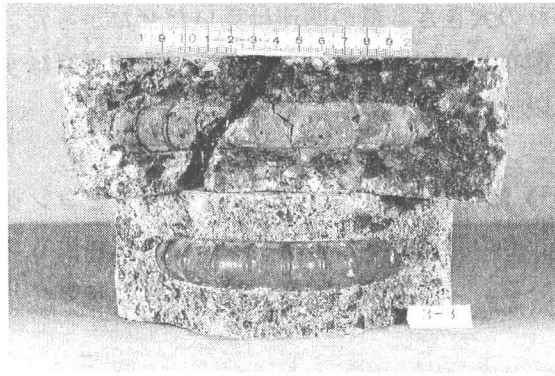


写真-4 中性化 (エポキシ塗装)

写真-5 中性化 (裸鉄筋)

表-2 鉄筋の腐食状況

試験条件	かぶり (mm)	塗膜厚 (μm)	紋別		沖縄		相模原		
			腐食	錆汁	腐食	錆汁	腐食	錆汁	
裸鉄筋	20	—	IV	III	IV	III	IV	III	
塗装鉄筋	20	180	II	I	II	II	III	III	
	20	80	III	I	III	II	III	III	
	20	280	I	I	I	I	III	III	
	20	380	I	I	I	I	II	III	
筋傷	傷中	20	180	II	I	III	II	III	III
	傷小	20	180	II	I	II	I	III	III

鉄筋の腐食グレード

I：錆が存在しない状態

II：ごく軽微な錆が存在する状態

III：鉄筋の全周にわたって錆が存在する状態

IV：鉄筋の腐食が内部まで進行し、一部断面欠損を生じている状態

錆汁のグレード

I：錆汁が確認されない状態

II：錆汁が鉄筋付近で確認される状態

III：錆汁がコンクリート外部までしみ出ている状態

表-3 コンクリート中の全塩分量

試験体	かぶり (mm)	塗膜厚 (μm)	全塩分含有率 (%) *			
			採取位置	紋別	沖縄	相模原
裸鉄筋	20	—	表面部	1.27	1.28	2.07
			内部	0.72	1.35	1.40
エポキシ塗装	20	180	表面部	1.77	1.35	1.86
			内部	1.43	1.38	1.68
同上 傷有り	20	180	表面部	1.59	1.47	2.16
			内部	1.95	1.43	2.24

表面部：0～1cmまでの表面部分

内部：1cm～鉄筋近傍までの部分

*：JCI-SC5 (硬化コンクリート中に含まれる全塩分量の簡易分析方法)

によって測定された全塩分含有率 (NaCl換算, %)

エポキシ塗装鉄筋の腐食とそれに対応するひびわれの大きさ、量の関連は見いだせなかった。エポキシ塗装鉄筋の耐食性からは塩水を強制的に散布した相模原暴露を除けば、塗装膜厚はすでにいくつかの規格に採用されている180 μ m以上が望ましいと言える。

3.5 コンクリート中の塩分量

コンクリート中には食塩を1% (25 kg/m³) 添加したことなどから、もともとコンクリート中の鋼材が腐食するに十分な塩分があった。その量は表-2に示す様に暴露試験後もコンクリート中にはほぼ初期と同程度以上に残留している。従って、鉄筋の腐食はこのコンクリート中の塩分によるものである。

4. 結論

エポキシ塗装鉄筋はその防食性が評価されながらも長期信頼性やコストの面で実用化がおくれている。筆者らは長期暴露試験によってこれらの課題を解決すべく5年間の暴露試験を計画し、ここでその評価をするに至った。今回の報告ではコンクリートの表面からの評価に留まるが、以下に述べる点からその効果は十分に有ると言える。

1) エポキシ塗装鉄筋を用いると鉄筋の腐食によって生じるような鉄筋表面に達するコンクリートのひび割れは生じない。

コンクリート中に食塩を添加するなど始めから鉄筋の腐食環境をつくったことで、暴露場所の環境の影響が小さくなったが、いずれの暴露場所でもエポキシ塗装鉄筋の試験体ではコンクリートのひび割れ性状で鉄筋との明確な関連は見られなかった。

2) エポキシ塗膜に小さな傷を生じて、それが原因となるコンクリートのひび割れは生じない。

傷面積の評価が充分ではないとしても傷部からの選択的な鉄筋の腐食は見られず、傷部はエポキシ塗装鉄筋の弱点とはならなかった。

3) コンクリート表面のひび割れが内部に進展しても、エポキシ塗装鉄筋の防食は有効である。

コンクリートのひび割れは暴露環境に因るものと鉄筋の腐食に因るものとが考えられ、いずれも鉄筋の腐食に影響し、腐食を加速すると考えられるが、エポキシ塗装鉄筋ではコンクリートからのひび割れに対しても防食効果を有していた。

参考文献

- 1) 米野 実他：エポキシ塗装鉄筋を用いたコンクリートブロックの屋外暴露試験結果、土木学会第42回年次学術講演会、V-188、1987年9月
- 2) 米野 実他：エポキシ塗装鉄筋を用いたコンクリートブロックの屋外暴露試験結果(3年)、土木学会第44回年次学術講演会、V-275、1989年10月
- 3) 等 俊一他：エポキシ塗装鉄筋を用いたコンクリートブロックの屋外暴露試験結果(5年)、土木学会第46回年次学術講演会、V-166、1991年9月
- 4) 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(案)、土木学会、1986年2月