

報 告

[1097] 沖縄ルカン礁におけるエポキシ樹脂塗装鉄筋の耐食性

福満俊治（海上保安庁 燈台工務課）

大野 鉄（住友金属工業）

新井哲三（住友金属工業 研究開発本部）

正会員 ○ 塩谷千歳（住友金属工業 建設技術部）

1. 緒 言

コンクリート構造物の塩害による早期劣化を防止するために、かぶり厚の増加、ひびわれの制御、コンクリートの高品質化及び入念な施工等、コンクリート技術の側からの対策がまず行われなければならない。しかし、沖縄では、良質な骨材が得られないことや、離島での施工では海水そのものを混練水として使用せざるを得ないとも言われている[1][2]。この様なことから、鉄筋コンクリート構造物の住宅や校舎、橋梁などの劣化がはやくから問題視されている。今回、コンクリート中の防食鉄筋としてエポキシ樹脂塗装鉄筋の長期耐久性を評価するため、特に環境の厳しい沖縄のルカン礁で暴露試験を行っている。5年を経過したので回収評価を行った。

2. 試験方法

2. 1 供試鉄筋

供試鉄筋の一覧を表-1に示す。エポキシ樹脂塗装鉄筋は、静電粉体塗装により得たものである。塗装傷の影響を調査するために、鉄筋の長さ方向の中央部の15ふしに1ふし当り1.0~3.6mm（平均1.9mm）の塗膜傷を作った。この塗膜傷の大きさは、取扱中やコンクリートの打設時に粗骨材との衝突により生じる塗膜傷の大きさをほとんど含んでいる[3][4]。なお、裸鉄筋は、表面状態を均一にするために、ブラストによりミルスケールを除去し供試した。

2. 2 供試体

コンクリート用材を表-2に示した。骨材はすべて沖縄産であり、混練水としては沖縄の状況を考慮して海水を用いた。

なお、用いた海水は、尼崎港から採取したが、河川水により標準の海水より5倍希釈されていた。また供試体の形状は図-1に示すとおりで、同一の供試体の中にかぶりが2、4、7cmになるように

表-1. 供試鉄筋の種類

表 面 処 理（標準膜厚 μm ）	素 材
エポキシ樹脂塗装（ 180 ± 50 ）	SD30横ふし （JIS G 3112）
亜鉛めっき（80 クロメート処理なし）	
裸（ブラスト処理）	D13 X 600 mm

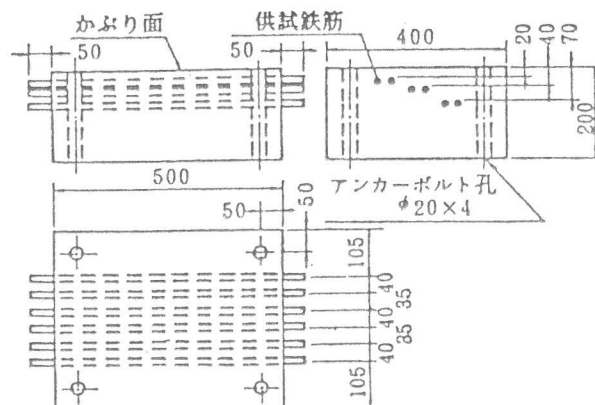


図-1 供試体形状（単位mm）

水平に埋め込んだ。コンクリートの打設の際には、バイブレーター等による締固めは行わず、また養生は水中で30日間養生を行った。

一部の供試体には養生後、かぶり面を下にして距離30cmの支点で支え、上方から集中荷重を加えてひび割れを導入し供試した。生じたひびわれは、長さ82～330cm、最大ひびわれ幅は0.2～0.3mmである。

表-2 コンクリート材料

材 料	種 類	産 地
混練水	(1)海水 (2)水道水	・尼崎港より採集 ・尼崎上水道
細骨材	海砂/砕砂	前島産海砂と本部産砕砂を重量比1:1で混合して使用
粗骨材	碎石	本部産碎石
セメント	普通 4°ポルトランドセメント	

表-3. コンクリートの配合

設計強度 kg/cm ²	粗骨材 最大寸法 mm	水セメント 比 W/C %	スランブ cm	細骨材率 % S/(S+a)	単 位 量 kg/m ²			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 a
24.0	25	55	10±2	38.5	145	262	746	1190

2.3 暴露

暴露は、沖縄県糸満市西方14Kmにあるサンゴ礁上の構築物基礎の上（海上大気中）とその付近の海水中で行った。構築物基礎面に固定した供試体は、海況が平穏の時以外は海水飛沫を受け、更に台風時には波浪をかぶる。なお、暴露場所の環境把握のために、普通鋼をそれぞれの位置に垂直に暴露しその腐食量を測定することにより腐食環境の程度を知ることにした。

2.4 暴露後の評価方法

(1) コンクリート中の塩素イオン濃度：かぶり面から一定距離毎にコンクリートを分取し、粗骨材を除いた残りを0.3mm以下に粉砕し試料とし、この試料の10倍量の純水を加えて6時間振とう後溶液中の塩素イオンを定量した。

(2) 鉄筋の観察：コンクリート中から取り出した鉄筋の発錆率及び食孔深さを測定した。

食孔深さについては、除錆後腐食していない鉄筋面を基準にして食孔深さを15°ポイントマイクロメータで測定した。

3. 結 果

3.1 コンクリート中の塩素イオン濃度分布

供試体中の塩素イオン濃度分布を図-2に示す。5年経過で塩素イオンの浸透は、表層より3cmまで著しく増加している。また、表層部

(3cm)では海洋大気の方が海中より塩素イオン濃度は高く、鉄筋に対する腐食環境が厳しいことがうかがえる。

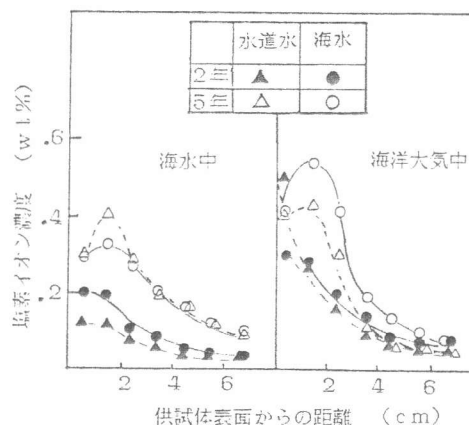


図-2 塩素イオン濃度分布

3. 2 錆発生率

ひびわれのない供試体では、エポキシ樹脂鉄筋の塗膜傷部でも赤錆の発生は僅かである。しかし、亜鉛めっき鉄筋では、かぶり厚が小さい場合（2cm）5～20%も赤錆が発生していた。裸鉄筋は、かぶり厚が大（7cm）でも10%程度の赤錆が発生していた。

また、ひびわれのある供試体の鉄筋の錆発生率は、図-3に示した様にエポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜健全部（人工傷付与部以外）では、暴露環境、混練水、かぶり厚、の如何に関わらず錆は認められない。しかし、亜鉛めっき鉄筋の場合海洋大気中に暴露したかぶり厚2cmおよび4cmでは白錆が30%～100%も発生している。更に赤錆は50%程度認められた。裸鉄筋では、かぶり厚が7cmの鉄筋でも海洋大気中では20～50%赤錆が発生していた。

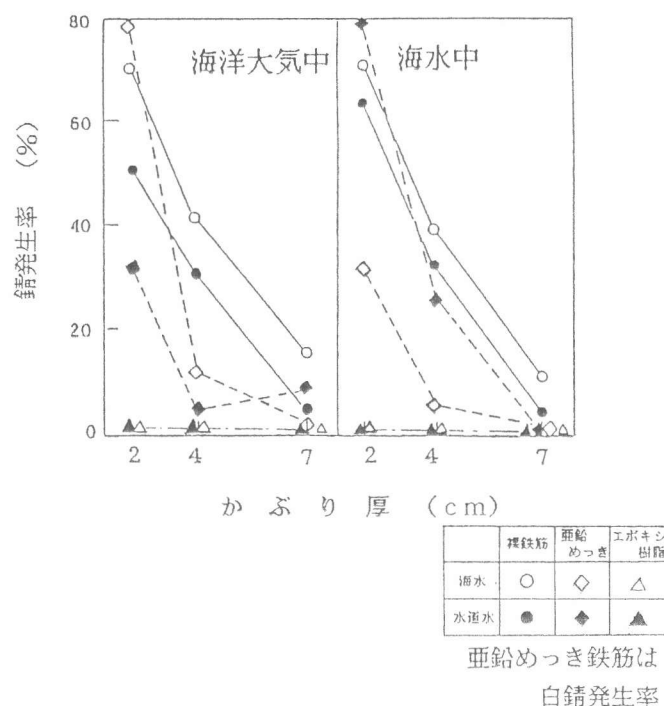


図-3 錆発生率
(ひびわれの有る供試対)

3. 3 食孔深さ

ひびわれのない供試体における鉄筋の場合、エポキシ樹脂塗装鉄筋は全く食孔は見られない。しかし亜鉛めっき鉄筋では、かぶり厚の小さい（2cm）場合で0.3～0.9mmの食孔が認められた。更に、裸鉄筋では、2mm程度の食孔が生じていた。これらの結果から、亜鉛めっき鉄筋と裸鉄筋とは、コンクリートに侵入した塩素イオンの影響を大きく受けたと思われる。次に、ひびわれのある供試体の鉄筋の最大腐食深さを図-4に示した。図より海洋大気中に暴露されたエポキシ樹脂塗装鉄筋では、傷付与部のみ僅かに食孔が認められた。しかし、亜鉛めっき鉄筋ではかぶり厚に反比例し食孔深さは小さくなっているが、かぶり厚2cm材では4mmと深い食孔が見られた。また、裸鉄筋ではかぶり厚の小さい（2cm）場合、海洋大気中の方が海水中より食孔は大きい。これは、海洋大気暴露の方が十分酸素の供給がなされるためと考えられる。

3. 4 エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜傷部の腐食

塗膜健全部においては、5年経過しても全く錆は見られなかった。また、塗膜傷部に於いてはひびわれのある供試体の場合のみ、図-4に示したよう0.2～0.5mmと僅かな食孔が認められた。これは、ひびわれより浸透した海水によるが、塗膜の密着力が正常であれば、露出した鋼面が海水と接する部分は狭く、アノードに対するカソードの面積比が裸鉄筋に比べ小さく、マクロセルの規模が小さくなり、そのため裸鉄筋程大きな孔食にはならなかったと考えられる。

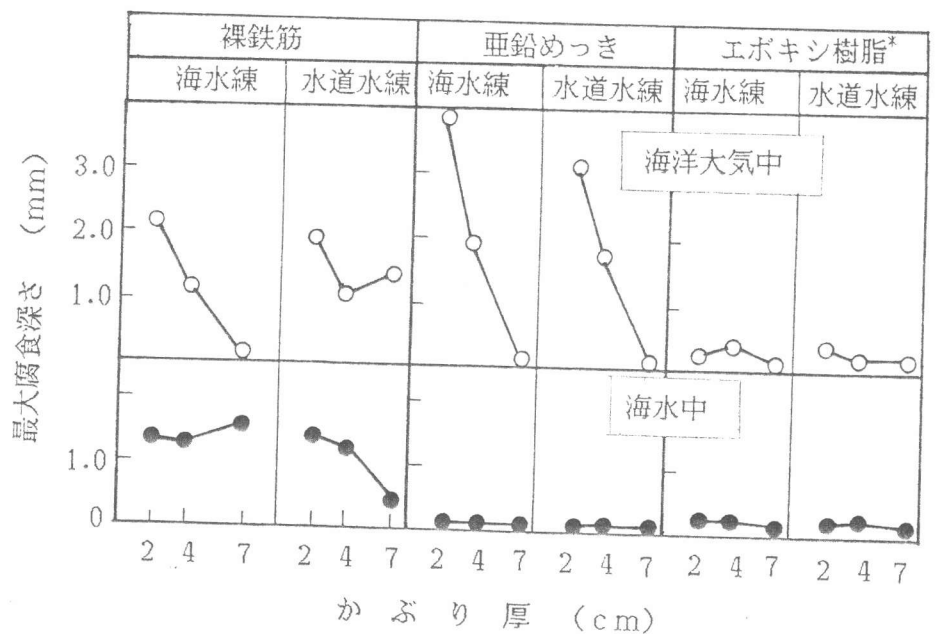


図-4 ひびわれのある供試体での最大腐食深さ

4 結 論

高温多湿で腐食環境の厳しい沖縄の海洋環境での暴露試験5年目の結果よりコンクリート中の鉄筋の腐食について以下の諸点が明らかになった。

(1) エポキシ樹脂塗装鉄筋は塗膜が健全な限りコンクリートのひびわれの有無、混練水、かぶり厚、暴露環境などの如何に関わらず良好な耐食性を示す。また、塗膜傷を付与した場合でも、食孔の深さは他の鉄筋よりも小さい。

(2) 亜鉛めっき鉄筋は、海洋大気部のひびわれの有る供試体で、かぶり厚2cm、4cmで50%の赤錆と最大腐食深さが3~4mmの食孔が生じた。しかし、海水中では、腐食の進行が遅く赤錆の発生も僅かで食孔も認められなかった。

(3) 裸鉄筋では、ひびわれのない供試体でもかぶり厚4cmで、最大腐食深さは0.8mmの食孔が生じており、ひび割れのある供試体では、更に著しい腐食が生じている。

参考文献

- 1) 岸谷：沖縄における鉄筋コンクリート造校舎の鉄筋腐食調査（那覇市の例）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1973.10
- 2) 具志、ほか：沖縄におけるコンクリート造校舎の耐久性調査（その1 宮古島）、日本建築大会講演梗概集、1976.10
- 3) 齊藤、ほか：エポキシ樹脂塗装鉄筋コンクリートの試験施工報告、土木学会年次学術講演概要集、1984.10
- 4) 新井、ほか：エポキシ樹脂塗装鉄筋、住友金属、Vol.36 No3 PP69