

# タールエポキシ塗装した鋼材の塩害環境下における腐食性状

中部大学 正会員 小林孝一

## 1. はじめに

鋼は、コンクリートと並んで耐久的で安価な材料として、社会資本の整備に活用されてきた。しかし、鋼は化学的に安定した酸化鉄を還元反応により精製したものであり、酸化反応である腐食反応を極めて生じやすい。そのため、使用する際には必ず何らかの保護工が施されることとなる。しかしながら、RC構造物中の鉄筋腐食の場合と異なり、防食工の劣化も含めた鋼構造物の腐食劣化の過程は十分に明らかにされているとは言い難く、確立された劣化過程のモデルも存在しないのが現状である。そこで本研究は、タールエポキシにより表面被覆された鋼材を対象とし、激しい腐食環境である海洋環境における劣化の進展過程を明らかにすることを目的とした。

## 2. 実験概要

本研究では、表1に示すようなタールエポキシ塗装を75×150×5mmの鋼材の片面に施した供試体を用いた。裏面および側面はすべて厚膜のエポキシ樹脂で覆い、タールエポキシ塗装のみが母材の腐食に関与するようにした。その後、ハイエンドミルで供試体中央部のタールエポキシ塗装を削り取り、母材を露出させる人工初期欠陥を作製した。海洋曝露供試体は、大井川河口部の海洋環境の飛沫帯、干満帯、海中部に曝露した。促進試験に供した鋼材は40℃のNaCl5%水溶液中に浸漬した。

海洋曝露鋼材は曝露約1年で、促進試験鋼材は浸漬0, 400, 800, 1200時間の時点で、交流インピーダンス法にて周波数20k~10mHz, ±10mVの印加電圧に対する応答を分析した。なおここでは、Bode線図上で最大周波数と最小周波数に対する応答抵抗 $|Z|$ の差を、供試体の電気抵抗と見なした。また曝露鋼材に関しては上記の測定後、初期欠陥からの腐食の進展幅を四方向で測定し、その平均を求めた（図1）。

表1 塗膜の仕様

|              | 母材    | 下地処理        | プライマー                 | 上塗り塗装                             |
|--------------|-------|-------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 海洋環境<br>曝露鋼材 | SS400 | サンド<br>ブラスト | 有機ジンク<br>(25 $\mu$ m) | タールエポキシ<br>(400 $\mu$ m)          |
| 促進試験<br>鋼材   | SS400 | サンド<br>ブラスト | —                     | タールエポキシ<br>(50, 100, 150 $\mu$ m) |

## 3. 結果および考察

海洋環境に曝露後の初期欠陥周囲の劣化状況の例を図2に示す。初期欠陥部分の母材に腐食が生じているのみならず、塗膜の剥離、浮きが進行している。初期欠陥の直径とそこからの腐食の進展距離との関係を、図3に曝露環境別に示す。腐食環境別では、大気中の飛沫帯に置かれた供試体において最も腐食が進んでいた。これは海洋環境においては飛沫帯において最も腐食が進行するという一般的事実に一致し、鋼の腐食速度を律速するのがカソード反応で消費される酸素の供給量であるためであると考えられる。

また、特に大気中の飛沫帯において、初期欠陥の拡大とともに腐食の進展距離は大きくなった。塗膜に欠陥がある場合には、剥出しの母材部分をアノード、その周囲をカソードとするマクロセル回路が形成される。初期欠陥以外の塗膜においては、塗膜を透過して母材に達する酸素および水の量は極めて少ないが、欠陥部分、すなわち塗膜の端面から母

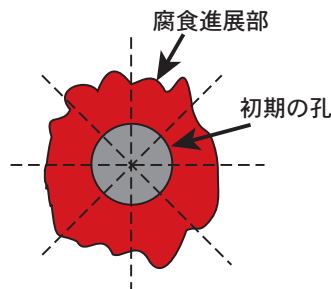


図1 腐食進展幅の測定

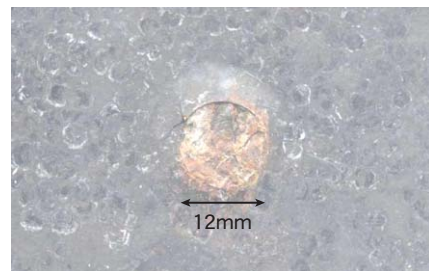


図2 初期欠陥周囲の劣化進展の例

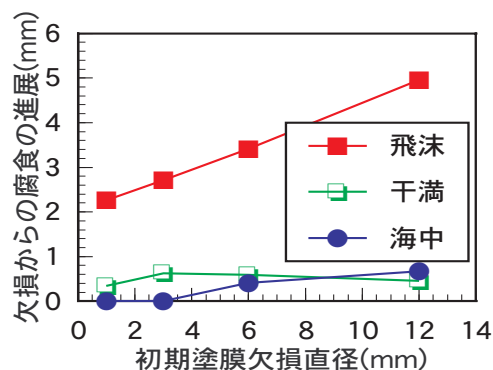


図3 初期欠陥の直径と腐食進展幅

キーワード：鋼構造、腐食、海洋環境、表面被覆、ACインピーダンス  
〒487-8501 春日井市松本町1200, Tel.0568-51-9187, Fax.0568-51-1495

材と塗膜の界面に浸透する水と酸素は、アノードと距離が近いこともあり、マクロセル回路のカソード反応に大きく寄与していると考えられる。このカソード反応により塗膜の母材への付着力が低下して剥離が生じ、この部分が次第にアノード化し、腐食は欠陥部から周囲へと進展してゆく。したがって、アノードの面積が大きく、アノード反応の発生量が大きい場合には、それに釣合うカソード反応も活発に起こって剥離面積が大きくなり、結果として腐食の進展距離も大きくなったものと考えられる。そのため、腐食の進行にともない劣化は加速するといえる。

図4に、曝露鋼材で測定した抵抗の一覧を示す。ここで測定された抵抗は、母材露出部における母材自身の分極抵抗と、塗膜の電気抵抗や塗膜と母材との界面で生じるカソード反応に関する分極抵抗などを並列接続した、回路全体の抵抗であると考えられる。その場合、供試体全体の抵抗は、初期欠陥部分の露出した母材の抵抗に大きく依存するが、腐食量の大きな飛沫帯に曝露された供試体の抵抗が大きかったのは、腐食物が厚く堆積し、母材露出部分の電気抵抗が増加したためであると考えられる。

促進試験を行った供試体の促進試験開始前の抵抗を図5に、劣化促進環境に1200時間置いた後の抵抗を図6に示す。塗膜が劣化していない促進試験前の段階においては、塗膜の初期欠陥の径が大きくなるのにもなって供試体全体での抵抗が低下し、供試体全体での抵抗が母材露出面積に依存していることが明らかである。しかしながら膜厚が50 $\mu\text{m}$ の場合には、劣化促進1200時間後には供試体全体での電気抵抗は初期欠陥の径に依存しない。これは塗膜自身の劣化が進行し、塗膜の電気抵抗と母材露出部の電気抵抗の差が小さくなったためであると考えられる。このような傾向は膜厚が100 $\mu\text{m}$ 、150 $\mu\text{m}$ の場合には見られず、1200時間の促進試験の条件下では、50 $\mu\text{m}$ の場合のみ劣化モードが異なると推察される。

塩水に供試体を浸漬した本研究の促進試験の環境は、曝露環境における海中部に相当すると考えられるが、曝露試験と促進試験

ではそれぞれに適用した膜厚が異なるために、結果を直接比較することはできない。また前述の促進劣化させた薄膜供試体でみられたような塗膜自身の劣化現象は、いずれの曝露環境でも観察されなかったため、塗膜を薄くして劣化の促進をはかることは、実環境における劣化メカニズムを正しく再現できない可能性がある。ただし、本研究での曝露期間は1年と短いため、より長期の塗膜の劣化過程、劣化性状を検討する必要があると考えられる。

#### 4. まとめ

- (1) 曝露環境別では飛沫帯において劣化が最も進行し、その場合、腐食の進展は初期欠陥の大きさに依存する。
- (2) 腐食が進行した場合の方が鋼材の電気抵抗が増加する場合がある。
- (3) 薄膜の場合には400時間の促進劣化で塗膜自身の劣化が観察された。

**謝辞** 本研究は、土木学会 構造工学委員会 沿岸環境における鋼・複合構造物の防食および耐久性能評価に関する研究小委員会の活動の一環として行われた。また(社)日本鉄鋼連盟の援助を受けた。ここに記して謝意を表す。

**参考文献** 1) 小林孝一、山本正弘：塗膜の劣化と鋼材の腐食劣化進展に関する基礎的研究，土木学会第60回年次学術講演概要集，第V部門（於早稲田大学），2005年9月

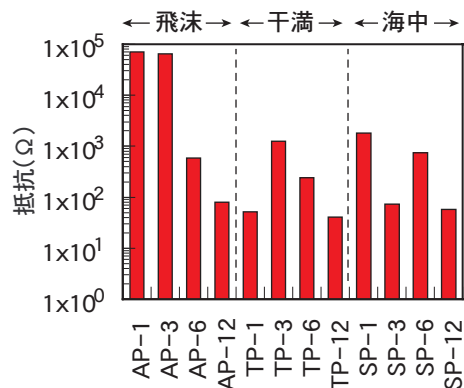


図4 曝露鋼材の電気抵抗

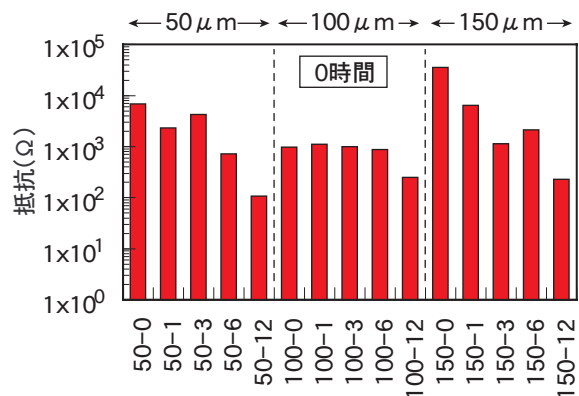


図5 促進試験鋼材の抵抗（促進試験開始前）

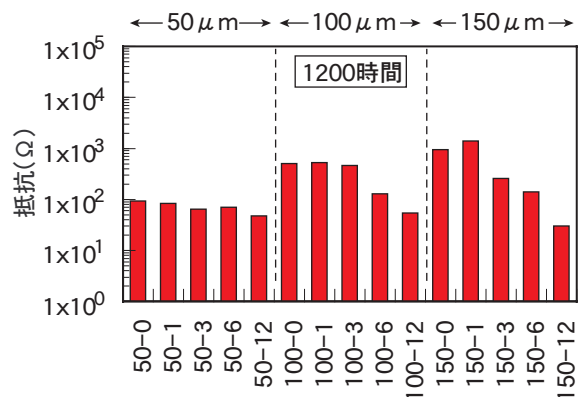


図6 促進試験鋼材の抵抗（促進試験1200時間）