

# 自動車用表面処理鋼板における孔あき腐食挙動と寿命予測\*

川崎製鉄技報  
27 (1995) 3, 163-168

## Perforation Corrosion Mechanisms and Life of Coated Steel Sheets for Automotive Bodies



黒川 重男  
Shigeo Kurokawa  
技術研究所 表面処理  
研究部薄板表面処理  
研究室 主任研究員  
(課長補)



内田 守重  
Morishige Uchida  
技術研究所 表面処理  
研究部薄板表面処理  
研究室



望月 一雄  
Kazuo Mochizuki  
技術研究所 表面処理  
研究部薄板表面処理  
研究室長(課長)

### 要旨

自動車用亜鉛系めっき鋼板の孔あき腐食挙動について実車試験および各種促進試験を行い調査した。孔あき腐食は合わせ目の無塗装部を起点に始まり、めっきの犠牲防食作用が働く期間、腐食生成物による保護作用が働く期間、素地鋼の腐食期間、孔あきの順に進行するが、環境、部位によって腐食速度が大きく異なる。腐食速度が大きい環境では犠牲防食作用と腐食生成物による保護作用の防食期間が短くなりめっきの効果が小さくなる。逆に腐食速度の小さい環境では犠牲防食作用と保護作用が長期間働くのでめっきの効果が大きくなる。このめっきの効果の定量化を図るため、著者らは各腐食環境でのめっき鋼板の冷延鋼板に対する耐食性倍率の指標を提案した。この指標を用いれば孔あき寿命予測が可能となろう。

### Synopsis:

Perforation corrosion mechanisms of zinc coated steel sheets in automotive bodies were studied by field vehicle tests and several types of corrosion tests. Perforation corrosion occurred at the uncoated portion in the lapped parts and proceeded in the following order of period: galvanic protection of the coating, protection by corrosion products, corrosion of steel substrate, and perforation. The rate of corrosion in each process depended significantly on atmospheric exposure conditions and portions in the automotive bodies. In environments which produce high corrosion rates, coating is largely ineffective against perforation corrosion because galvanic protection and protection by corrosion products cannot be maintained over the long term. Conversely, coating is highly effective under atmospheric conditions which produce low corrosion rates because galvanic protection and protection by corrosion products continue to protect the steel substrate over an extended period. The authors suggested an index of a magnification for corrosion resistance under each atmospheric condition. It may be possible to estimate perforation corrosion life by using this index.

## 1 緒 言

北米、欧州で冬季路上凍結防止のために融雪塩が散布されたのを契機に、自動車の塩害腐食が社会問題化し、1970年代後半以降自動車車体に亜鉛系めっき鋼板が本格的に使用され始めた。自動車車体における腐食の形態は大別すると2種類に分けられる。すなわち走行中の車体外板塗装面に小石や砂利などが当たってできる塗膜損傷部から塗膜下腐食を起し、赤錆やかさぶた状の腐食を呈する外面錆と乾燥しにくく塗装が回り込まない袋構造部や接合部の内側に泥や塩分を含む水が浸入して発生した腐食が外側まで進行する場合の孔あき腐食とがある。

外面錆は主として塗膜下腐食であり塗膜下腐食については塗膜下のpH測定を通して腐食の進行形態が検討されている<sup>1,2)</sup>、また孔あき腐食については市場走行車調査による鋼板合わせ部の腐食発生部位の形態が検討されている<sup>3,4)</sup>が、そのほとんどは定性的であり、

亜鉛系めっきの腐食の進行メカニズムと防食作用に関する定量的な検討と孔あき寿命予測がなされていないのが現状である。また耐食性評価のための複合サイクル腐食試験に関しては合わせ目の状態(隙間や施工法)の影響<sup>5)</sup>や腐食条件の影響<sup>6)</sup>が主体であり孔あき寿命予測ができていない。

本論文では上記をふまえて亜鉛系めっき鋼板の腐食に関して市場走行車調査を基に合わせ目での腐食進行形態から腐食メカニズムを検討し、孔あき腐食の促進試験からの孔あき寿命予測を検討する。

## 2 実験方法

### 2.1 供試材

供試材としてZn-Ni合金電気めっき鋼板(両面めっき材、Ni含有率11.2%、目付量:片面21g/m<sup>2</sup>)を、比較材として冷延鋼板(SPCD)を使用した。供試材を用いて4ドアセダントタイプの乗用車のフロントドアを作成し、実車と同様の塗装を施して実験車に取り付けて実走行試験を行った。ただしドアの作製に際してはヘム部の

\* 平成7年7月4日原稿受付

合わせ目が試験開始直後から腐食環境に曝されることを想定して、アドヒーズや防錆ワックスは実施していないが、端面からの腐食を防ぐためにシーラーのみ施工した。

## 2.2 沖縄での実走行試験

上記仕様で作製した試験用ドアを取り付けた実走行試験車は、沖縄県那覇市近郊で業務用商用車として使用され1985年10月から1993年11月までの8年間で約80,000 km 走行した。

## 2.3 沖縄での海岸暴露試験

実験車に取り付けたものと同様に作製したドア材を、沖縄本島の与勝半島海岸にある当社の暴露試験場で、そのままの状態暴露試験を行った。

## 2.4 海岸暴露海水散布試験

実験車に取り付けたものと同様に作製したドア材を、千葉製鉄所内の岸壁に屋外暴露して、一週間に2回海水を10分間散布する海岸暴露海水散布試験 (Modified Volvo Test) を行った。

## 2.5 複合サイクル腐食試験

実験車に取り付けたものと同様のドア材のへム部を切り出し、端面をシーラーで補修した試験材を、複合サイクル腐食試験としてCCT-1とCCT-2の2条件で行った。

CCT-1: 塩水噴霧(35°C)0.5%NaCl・5h → 乾燥(70°C)・7h  
→ 湿潤(50°C)95%RH・12h 1サイクル/日

CCT-2: 塩水噴霧(35°C)5%NaCl・6h → 乾燥(50°C)・3h  
→ 湿潤(50°C)95%RH・15h 1サイクル/日

## 2.6 孔あき腐食の評価方法

へム部の最大腐食部を切り出しインナーとアウターに解体した後、アルカリリムーバおよびクエン酸アンモニア溶液により塗膜と腐食生成物を除去しマイクロメータで鋼板の腐食深さを測定した。評価はアウター、インナーの両方の最大腐食深さ(最大板厚減少値)で行った。また同一試験材の別のへム腐食部で、合わせ目や腐食生成物をそのままの状態プラスチックで固定して断面からの観察を行った。

## 2.7 腐食生成物の同定

合わせ目を解体し、腐食生成物はそのままの状態試験片を切り出し、理学電機製微小X線回折装置RU-300Xを用いて微小X線回折法により100  $\mu\text{m}\phi$  の局部範囲の同定を行った。

## 3 実験結果

### 3.1 孔あき腐食の進行

孔あき腐食が発生する位置は塗装が回り込んでいないへム内部の合わせ部からである。一般的には塗装の付廻りを良くする工夫やアドヒーズ、シーラーなどを施すことによって腐食性の水が浸入しにくくしてあるが、本実験に使用したドアは試験開始の初期段階から雨水が浸入するようアドヒーズは施していない、これは実車における施工欠陥部を再現するとともに腐食の開始時期を同じにしようとしたものである。8年間沖縄を走行した実験車のドアへム腐食部における最大板厚減少値の測定結果をFig. 1に示す。実走行試験車におけるドアへム部の腐食は冷延鋼板材で2.5年で穴あき(板

厚0.85 mm)が認められたが、Zn-Ni合金めっき鋼板では8年間の最大腐食部でも0.18 mmの板厚減少値であった。Photo 1にZn-Ni合金めっき材へム腐食部の断面観察結果を示すが、最大板厚減少値が0.18 mm以下なので局部腐食は認められず、腐食は均一でほとんど進行していないことがわかる。また同じへム部を解体したときの合わせ面の腐食状態をPhoto 2に示す。腐食の進行はドア内部の合わせ目(B部分)から始まり、合わせ目を通じてA部分まで進行している。A部の先端には正常なめっき層が残っており、この部分が腐食進行の先端部であることが解る。

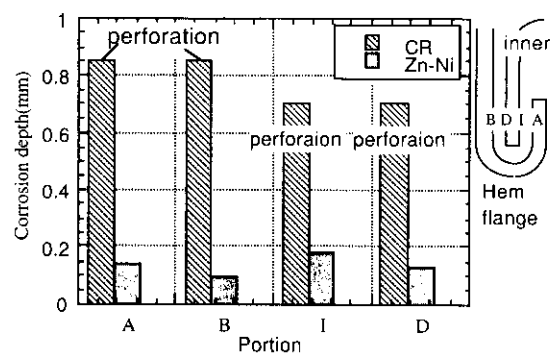


Fig. 1 Maximum corrosion depth at door hem after field test in Okinawa for 8 years

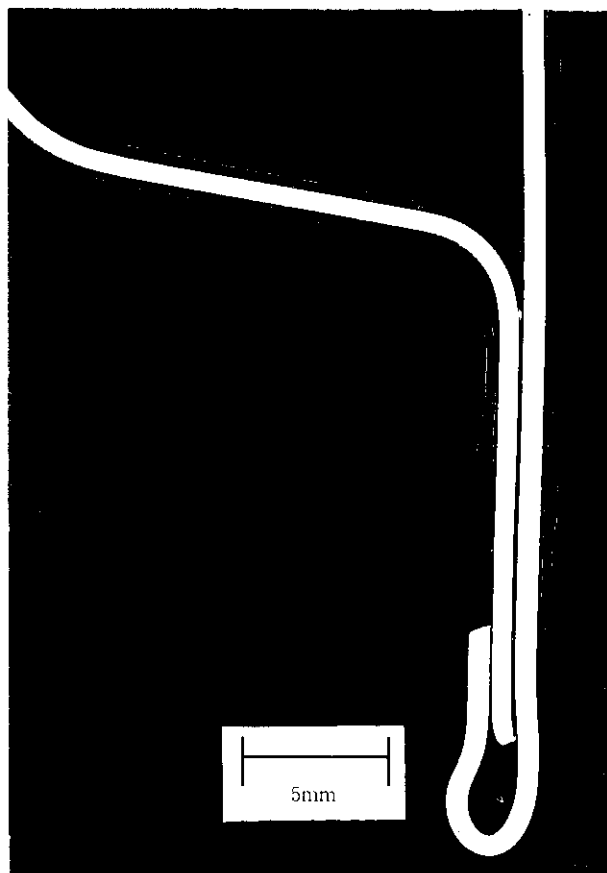


Photo 1 Cross section of door hem flange of Zn-Ni alloy coated steel after field test for 8 years (Any significant corrosion damage is not seen.)

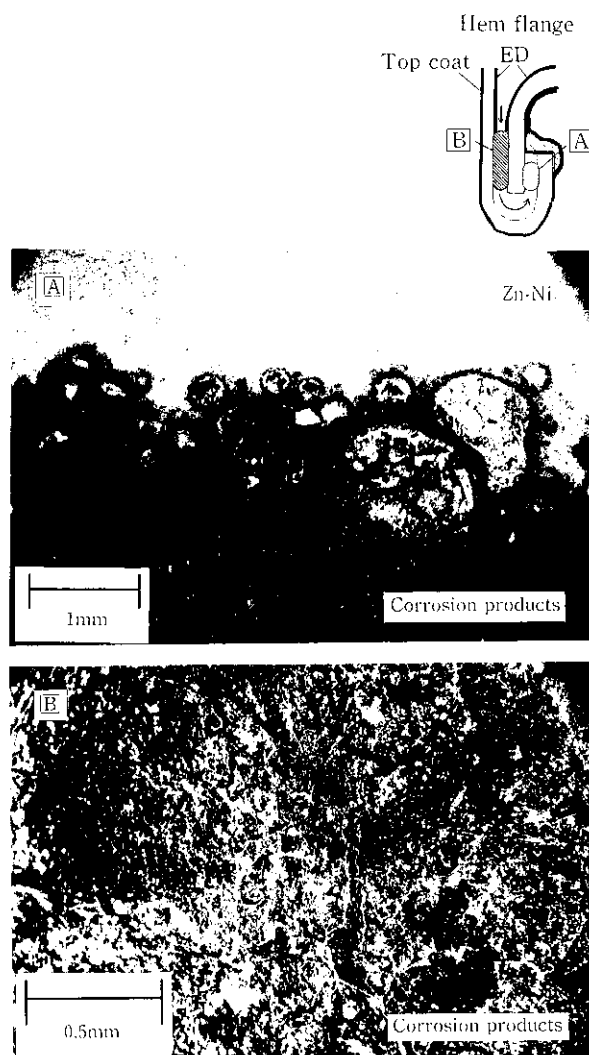


Photo 2 Corrosion products in door hem flange of Zn-Ni alloy coated steel after field test for 8 years

### 3.2 腐食生成物の変化と板厚減少値

Fig. 2 に、①で示す腐食期間の短い(腐食初期)箇所から、④で示す腐食期間の長い(腐食開始地点)箇所まで順に腐食生成物を微小 X 線回折によって同定した結果を示す。また、この①～④の部分の板厚減少値の測定およびめっき層と素地鋼板の腐食状態を断面観察した結果を Photo 3 に示す。腐食初期(腐食先端部)にみられる白色の腐食生成物(Photo 2 参照)は塩基性塩化亜鉛( $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ )である。この時期の腐食はめっき層のみの腐食であり板厚減少は認められない。次に、白錆が赤みを帯びてくる地点では、塩基性塩化亜鉛の他に  $\text{ZnO}$ 、 $\beta\text{-FeOOH}$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  が確認できるようになるが、めっき層はまだ残っており板厚減少値は 0.01 mm 以下であり無視できる。次に、塩基性塩化亜鉛が確認できなくなり酸化亜鉛( $\text{ZnO}$ )が多少認められ、ほとんどが鉄系酸化物( $\beta\text{-FeOOH}$ 、 $\gamma\text{-FeOOH}$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )になると、板厚減少値は 0.01~0.02 mm になる。この時点ではめっき層が消失し、めっきの効果がなくなり素地鋼板の孔あき腐食が進行するものと考えられる。さらに腐食が進行した地点では亜鉛系の腐食生成物が確認できなくなり(X 線回折での検出限界以下)鉄系の腐食生成物( $\alpha\text{-FeOOH}$ 、 $\gamma\text{-FeOOH}$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )のみとなる。

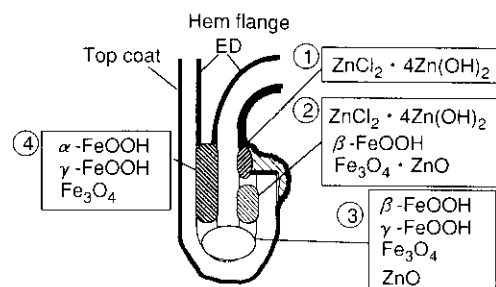


Fig. 2 Schematic of corrosion products in door hem flange of Zn-Ni alloy coated steel after field test for 8 years

|                                |                                                                                        |                  |                                |                                                                                                                |                  |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1                              | $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$                                          | 10 $\mu\text{m}$ | 2                              | $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ , $\text{ZnO}$<br>$\beta\text{-FeOOH}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ | 10 $\mu\text{m}$ |
|                                |                                                                                        |                  |                                |                                                                                                                |                  |
| Corrosion depth = 0 mm         |                                                                                        |                  | Corrosion depth $\leq 0.01$ mm |                                                                                                                |                  |
| 3                              | $\text{ZnO}$ , $\beta\text{-FeOOH}$<br>$\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\gamma\text{-FeOOH}$ | 10 $\mu\text{m}$ | 4                              | $\gamma\text{-FeOOH}$ , $\alpha\text{-FeOOH}$<br>$\text{Fe}_3\text{O}_4$                                       | 10 $\mu\text{m}$ |
|                                |                                                                                        |                  |                                |                                                                                                                |                  |
| Corrosion depth : 0.01~0.02 mm |                                                                                        |                  | Corrosion depth $\geq 0.1$ mm  |                                                                                                                |                  |

Photo 3 Correlation between the corrosion products and the corrosion depth after field test for 8 years

### 3.3 腐食環境と腐食生成物

いずれの腐食環境でも、X線回折で検出される腐食生成物はTable 1に示すように同様の化合物であり、特別な化合物は認められず、沖縄走行実験車と同じである。ただし、非品質の化合物や組成の割合などの変化が認められるが、現在のところ定量化はできていない。今後明確にしたい点である。

Table 1 Corrosion products under various conditions

|                          | Zn-Ni                                                  | Fe                                                                                                |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Field vehicle            | $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,<br>ZnO | $\alpha\text{-FeOOH}$ , $\beta\text{-FeOOH}$ ,<br>$\gamma\text{-FeOOH}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ |
| Exposure test            | $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,<br>ZnO | $\alpha\text{-FeOOH}$ , $\beta\text{-FeOOH}$ ,<br>$\gamma\text{-FeOOH}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ |
| Volvo test<br>(modified) | $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,<br>ZnO | $\alpha\text{-FeOOH}$ , $\beta\text{-FeOOH}$ ,<br>$\gamma\text{-FeOOH}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ |
| CCT-2                    | $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,<br>ZnO | $\alpha\text{-FeOOH}$ , $\beta\text{-FeOOH}$ ,<br>$\gamma\text{-FeOOH}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ |
| CCT-1                    | $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,<br>ZnO | $\alpha\text{-FeOOH}$ , $\beta\text{-FeOOH}$ ,<br>$\gamma\text{-FeOOH}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ |

### 3.4 腐食環境と腐食速度、めっきの効果

各腐食条件における板厚減少値の経時変化をとるとFig. 3のようになる。冷延鋼板は腐食環境によって腐食速度は異なるが、全ての腐食環境で時間とともに増加してその変化は原点を通る直線となる。一方、Zn-Ni合金電気めっき鋼板の直線は原点を通らず一定の潜伏期間が存在する。この期間内では亜鉛系腐食生成物しか認められない。さらに、その後板厚減少値が0.02 mm以下では冷延鋼板より緩やかな速度で腐食が進行する。この期間内の腐食生成物は亜鉛系と鉄系の腐食生成物が混在している。さらに腐食が進行すると鉄系の腐食生成物のみとなり腐食速度が増す。特に腐食速度の速い促進試験では、ほとんど冷延鋼板と同じ速度で直線的に腐食が進行する。しかし、腐食速度の遅い環境では板厚減少値が0.02 mmを超えても冷延鋼板の腐食速度より遅い傾向が長く続く。

以上のことから、Fig. 4に示すようにZn-Ni合金電気めっき鋼

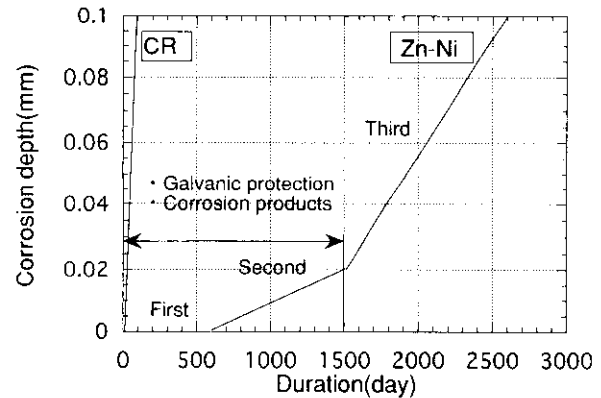


Fig. 4 Estimated corrosion behavior of Zn-Ni alloy coated steel applied to door hem

板の孔あき腐食は、第一段階がめっき層のみの腐食でこの期間は犠牲防食作用と亜鉛系腐食生成物による保護作用によって板厚減少が生じない潜伏期間、第二段階が素地鋼の腐食が進行し出すが亜鉛系腐食生成物によって保護される亜鉛系と鉄系腐食生成物の混在する期間（目付量が21 g/m<sup>2</sup>では板厚減少値が0.02 mmまで）、第三段階が亜鉛系腐食生成物がなくなり鉄系の腐食生成物のみとなる期間の三段階に分かれて進行する。ここで第二段階までがめっきの効果と考えることができる。しかし、板厚減少値が小さいことと、全面が均一に腐食することはないので各段階の境界は不明確である。特に第二段階の期間の特定は困難である。しかし、前述のような腐食段階を通して腐食環境によってめっきの効果が大きく異なることがわかる。

## 4 考 察

### 4.1 孔あき腐食の進行メカニズム

以上の実験結果を踏まえて孔あき腐食へのめっきの効果を考えてみると、前述の犠牲防食作用と腐食生成物による保護作用とによる防食効果が認められる第二段階までがめっきの効果であり、めっき付着量、合金成分によって影響される期間といえる。第三段階まで進めば酸素濃淡電池の形成によって進行する腐食（通気差腐食）となりめっきの効果はなくなるものと考えられる。しかし、腐食は均一には進行しないので第二段階と第三段階の区別は明瞭ではない、さらに

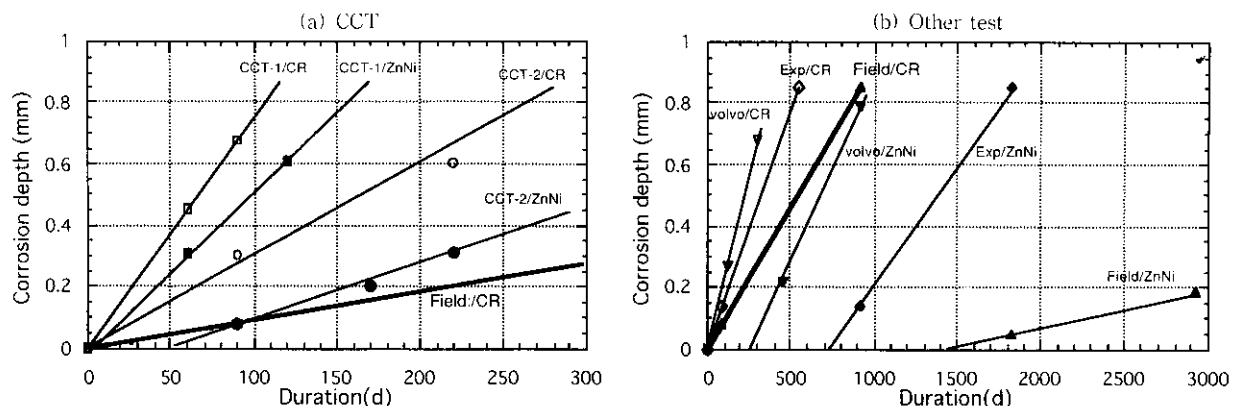


Fig. 3 Comparison of corrosion behavior of Zn-Ni coated steels (ZnNi) and cold rolled steels (CR) in various corrosion test

第三段階でも腐食速度が速い場合は鍍層に取り込まれた亜鉛系の腐食生成物(X線回折では検出されないほどの微量ではあるが)の効果が続く傾向がある。特に合わせ目の場合、亜鉛系の腐食生成物が流失し難いので効果が持続するものと思われる。

## 4.2 板厚減少と腐食生成物

CCT-2で腐食期間の異なる平板の試験片(50×50 mm)の表面の腐食生成物をヘラで採取し、X線回折装置で同定、定量した。残りは全量非晶質物質とした。また、腐食生成物を除去した同一試験材を3×3=9区画に分割し各区画の最大板厚減少値の平均を平均板厚減少値として、平均板厚減少値と腐食生成物の関係をFig. 5に示したが、Zn-Ni合金電気めっきの21 g/m<sup>2</sup>では亜鉛系腐食生成物が検出できなくなるときの平均板厚減少値が0.03 mmとなる。この時点まで亜鉛系、鉄系の腐食生成物が完全に残っていると仮定すると、亜鉛系の腐食生成物の重量比率は全体の10%以下である。素地鋼の腐食が始まると亜鉛系の腐食生成物の比率が急激に低下する。特に腐食速度が速い環境では、泥水や雨水などの浸入が多いので、亜鉛系腐食生成物の流出が多くなり、亜鉛系腐食生成物の保持による防食効果の持続期間が短くなるものと思われる。

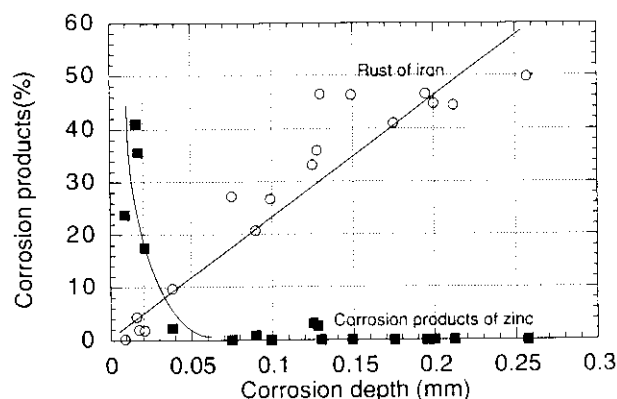


Fig. 5 Correlation between the rust of iron and the corrosion products of zinc of all corrosion products and the corrosion depth after CCT-2

## 4.3 腐食生成物の影響

表面に厚さ10 mmの透明アクリル板をラップして0.1 mmの隙間を作ったZn-Ni合金めっき鋼板と同様にして隙間を作った冷延鋼板とを、5%食塩水浸漬(25℃, 6時間)と乾燥(50℃, 相対湿度10%以下, 18時間)とを繰り返し腐食させながら、5%食塩水浸漬時のカップル電流を測定した結果をFig. 6に示す。カップル電流値は浸漬1時間後の安定した電流値を用いた。腐食初期の電流値は小さいが次第に大きくなり全面が白錆(塩基性塩化亜鉛)で覆われてくると次第に小さくなる。カップル電流が小さくなった時点で、透明アクリル板をはずし、開放状態でカップル電流を測定すると再び電流値が大きくなる。このことから亜鉛系のめっき鋼板による防食は犠牲防食作用とともに腐食生成物による保護作用が重要であるといえる。

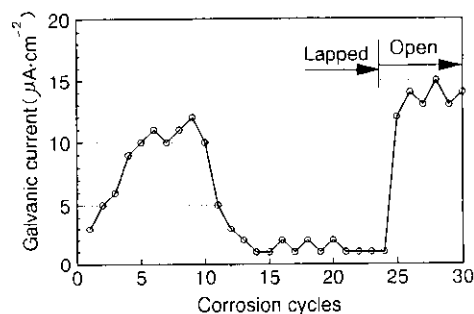


Fig. 6 Change in galvanic current in 5% NaCl

## 4.4 腐食環境と腐食速度の影響

第一段階、第三段階のめっきの効果持続期間は、3.4章で述べたように、今回の実験に用いたZn-Ni合金電気めっきの20 g/m<sup>2</sup>では平均板厚減少値で0.02 mmであった。ここで、めっきの耐食性倍率(corrosion resistance ratio)を、次のように定義した。

$$\text{耐食性倍率} = \frac{\left( \begin{array}{l} \text{めっき鋼板の厚みが一定量減少} \\ \text{するまでの期間} \end{array} \right)}{\left( \begin{array}{l} \text{同一環境で冷延鋼板の厚みが} \\ \text{同じ量減少するまでの期間} \end{array} \right)}$$

Fig. 3から計算した各腐食環境におけるZn-Ni合金電気めっき鋼板の耐食性倍率をTable 2に示す。ここでは板厚減少の値を鉄系腐食生成物が90%以上になる0.02 mmとした。また同様に孔あき(板厚減少値0.8 mm)に至るまでの孔あき耐食性倍率を計算した。腐食速度の速い環境ほどめっき耐食性倍率、孔あき耐食性倍率とも小さいことがわかる。沖縄走行の実験車では72倍ものめっき耐食性倍率効果が認められるのに、CCT-1の環境では2.2倍と約32分の1まで低下する。この理由は、腐食速度の速い環境ほど腐食電流が少なくかつ腐食生成物が緻密に形成され、さらに腐食生成物が流出しにくいのでめっきの効果が続くためと考えられる。このような現象は腐食速度の速い環境に比較して、腐食速度の遅い環境ほど明瞭に現れる。しかし孔あきまでの耐食性倍率で見ると実験車で9.2倍、CCT-1の環境で1.5倍となりその差は約6分の1となる。このことは孔あき腐食に至るまでにはめっきの効果と素地鋼板の耐食性の双方が影響していることは明らかであるが、素地鋼板の影響が大きく、相対的にめっきの効果が薄められていることを意味している。腐食速度の速い環境ではめっきの効果が非常に短期間になり、腐食生成物による保護作用も弱くなるためにめっきの効果が少

Table 2 Comparison of a corrosion resistance ratio of 0.02 mm depth corrosion and perforation corrosion in various environments

|                       | Corrosion resistance ratio <sup>a</sup> |             |
|-----------------------|-----------------------------------------|-------------|
|                       | Depth = 0.02 mm                         | Perforation |
| Field vehicle         | 72                                      | 9.2         |
| Exposure test         | 58                                      | 3.4         |
| Volvo test (modified) | 35                                      | 2.6         |
| CCT-2                 | 7.9                                     | 1.7         |
| CCT-1                 | 2.2                                     | 1.5         |

<sup>a</sup>Corrosion resistance ratio

$$= \frac{[\text{Time to reach a given corrosion depth in coated steel sheet}]}{[\text{Time to reach the same corrosion depth in cold rolled sheet}]}$$

ないが、腐食速度の違い環境ではめっきの犠牲防食作用が長期間持続するとともに腐食生成物が長期間残留し、板厚減少値が0.02 mmを超えても亜鉛系腐食生成物が錆層に残るために効果が持続するものと考えられる。このように腐食環境によって犠牲防食作用と腐食生成物による保護作用の持続期間が変わるので耐食性倍率が大きく異なる。一般的に外面錆の腐食環境は比較的乾燥した状態であり<sup>6)</sup>、環境差がそれほど大きいとは思われないが、内面の孔あき腐食は使用部位による腐食環境の変化が大きい。このため一つの試験で孔あき寿命を予測することは非常に難しい。孔あき寿命を予測するためには冷延鋼板などの標準材を指標にして、腐食速度の異なる複数の腐食試験でめっき鋼板の耐食性倍率を計測し、その環境、部位における寿命予測をすべきである。腐食環境、部位によって冷延鋼板の腐食速度が変化するので、その環境、部位における平均的な冷延鋼板の孔あき寿命がわかれば、その腐食速度に合致する腐食試験から計測しためっき鋼板の耐食性倍率を乗ずればその環境、部位におけるめっき鋼板の寿命予測が可能となるだろう。

## 5 まとめ

自動車用亜鉛系めっき鋼板の孔あき腐食は基本的に合わせ目の無塗装部を起点に進行するが、腐食環境、使用部位によって腐食速度が大きく異なる。そこで、指標として、同一環境の腐食におけるめっき鋼板の冷延鋼板に対する耐食性の比率を耐食性倍率として提案した。腐食速度が大きいと亜鉛系めっきの犠牲防食作用と腐食生成物による保護作用による防食期間が極端に短くなり耐食性倍率が小さくなる。逆に腐食速度の小さい環境では犠牲防食作用と保護作用が長期間働くので耐食性倍率が大きくなる。このため腐食速度の異なる複数の試験を行い、各試験でのめっき鋼板の耐食性倍率を測定しておき、目的の環境における冷延鋼板の腐食速度に合致しためっき鋼板の耐食性倍率を乗じれば、その環境、部位における寿命予測が可能となるだろう。さらに、市場車の冷延鋼板の腐食速度を測定し、それに合致しためっき鋼板の耐食性倍率を乗ずれば、市場車でのめっき鋼板の寿命予測も可能となるだろう。また、いづれの環境でも亜鉛系めっきの防食効果は認められるので、アドヒーズ、シーラーなどによる合わせ目の防水施工が完全でないならば亜鉛系めっき鋼板の使用は耐孔あき腐食に対して有効である。

## 参考文献

- 1) 林 公隆：日本金属学会会報，32(1993)2，86～95
- 2) 林 公隆，伊藤陽一，加藤忠一，三好康彦：鉄と鋼，76(1990)8，1309～1316
- 3) 三好康彦，伊藤陽一：“Corrosion Protection Functions of Zinc Coating on Steel Sheet, as Revealed by the Investigation of Field Cars and Laboratory Test,” 2nd International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet, GALVATECH '92, Amsterdam (The Netherlands), Sept. (1992)，528～534
- 4) T. C. Simpson, A. W. Bryant, G. Hook, R. A. Daley, R. J. Swinko, and R. W. Miller: “U. S. Automotive Corrosion Trends Over the Past Decade,” International Congress and Exposition, SAE, Detroit (USA), Feb. (1995)，950375
- 5) 若野茂，西原実：住友金属技報，41(1989)2，134～144
- 6) 黒川重男，番 典二，大和康二，市田敏郎：鉄と鋼，72(1986)8，223～230