
北米 5 年走行車の腐食状況

Corrosion Behavior of Vehicles Placed in Service in North America for 5 Years

内田 守重 (Morishige Uchida) 望月 一雄 (Kazuo Mochizuki)

要旨：

北米 5 年走行車の解体腐食調査を行い、腐食状況を車体部位で分類して Zn 系めっき鋼板の防錆性を評価した。両面に Zn 系めっきを施すことにより耐外面錆性は大きく改善される。Zn 付着量の増加により耐孔あき性は向上し、袋構造になっていない鋼板合わせ部位では、45 g/m² 以上の Zn 系めっき鋼板は優れた耐孔あき性を示した。袋構造部で、片面めっきを両面めっき化することによる耐孔あき腐食性改善効果がみられた。ヘムフランジ部でも、Zn 付着量の増加による耐孔あき性は改善はされた。Zn めっき鋼板による車体防錆性能の改善効果が認められる。

Synopsis：

Some passenger vehicles, which were manufactured in 1989 and 1991 and used around Detroit area for 5 years, were submitted for a corrosion investigation. Panels forming the body shell have been classified into five categories with respect to the corrosion environment and were evaluated their cosmetic corrosion and perforation corrosion. It is confirmed that exterior panels made of two-side zinc coated steel sheet have excellent performance in cosmetic corrosion. It is shown that the corrosion depth at lapped parts under low humid condition decreases with increased zinc coating weight. With precoated panels of zinc coating of more than 45 g/m², the degree of corrosion was slight. It was found that the usage of zinc coating steel sheet improves the anti-corrosion performance of vehicles.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Corrosion Behavior of Vehicles Placed in Service in North America for 5 Years



内田 守重
Morishige Uchida
川鉄鉱業(株) 技術研
究所 掛長



望月 一雄
Kazuo Mochizuki
技術研究所 表面処理
研究部門長

要旨

北米 5 年走行車の解体腐食調査を行い、腐食状況を車体部位で分類して Zn 系めっき鋼板の防錆性を評価した。両面に Zn 系めっきを施すことにより耐外面錆性は大きく改善される。Zn 付着量の増加により耐孔あき性は向上し、袋構造になっていない鋼板合わせ部位では、45 g/m² 以上の Zn 系めっき鋼板は優れた耐孔あき性を示した。袋構造部で、片面めっきを両面めっき化することによる耐孔あき腐食性改善効果がみられた。ヘムフランジ部でも、Zn 付着量の増加による耐孔あき性は改善はされた。Zn めっき鋼板による車体防錆性能の改善効果が認められる。

Synopsis:

Some passenger vehicles, which were manufactured in 1989 and 1991 and used around Detroit area for 5 years, were submitted for a corrosion investigation. Panels forming the body shell have been classified into five categories with respect to the corrosion environment and were evaluated their cosmetic corrosion and perforation corrosion. It is confirmed that exterior panels made of two-side zinc coated steel sheet have excellent performance in cosmetic corrosion. It is shown that the corrosion depth at lapped parts under low humid condition decreases with increased zinc coating weight. With precoated panels of zinc coating of more than 45 g/m², the degree of corrosion was slight. It was found that the usage of zinc coating steel sheet improves the anti-corrosion performance of vehicles.

1 緒 言

北米のように道路に融雪塩を散布する腐食環境の厳しい地域での自動車車体の防錆性向上を目的として、Zn 系めっき鋼板の使用や局部防錆処理が施されている。車体防錆保証期間の延長にともない Zn 系めっき鋼板使用比率の増加や Table 1 に示すような塗装の改良や車体局部防錆処理が強化されてきた^{1,2)}。Zn 系めっき鋼板の使用比率は、1985 年ころに約 10%、1988 年ころで約 40% と増加し、1990 年代になると 70% 以上に増加してきた。

Table 1 Improvements in corrosion preventive specifications

Material	Precoated steel sheet
Paint	Dip type zinc phosphate pretreatment
	Cathodic electrodeposition painting
	Anti-chipping primer
	Underfloor protection wax
Protection schemes	Adhesive (Hem flange)
	Sealer (Lapped together)
	Wax injection

* 平成11年11月10日原稿受付

自動車車体用鋼板の腐食機構に関する研究^{3,4)}や北米や沖縄などの実車における腐食調査が数多くなされてきた⁵⁻⁹⁾。川崎製鉄では、10 年防錆対策実施車の評価と Zn 系めっき鋼板の寿命把握を目的として、Zn 系めっき鋼板使用比率が 55~70% の 1989 年式および 80% 以上の 1991 年式の北米走行車を対象に解体腐食調査を行った。

自動車部品は種々な形状に加工後、溶接されて車体に組み込まれるため、溶接合わせ方法や袋構造部など、部位ごとに腐食環境は異なる。そのため同じ Zn 系めっき鋼板でも使用部位、合わせ形状、局部防錆処理の有無により腐食程度は異なる。そこで本論文では、実車の腐食状況を構造による湿潤程度や施工方法の観点で分類し、各腐食環境における Zn 系めっき鋼板の防錆性を評価した。

2 実験方法

2.1 調査対象車の選定

合金化溶融亜鉛めっき鋼板、Zn-Ni 合金電気めっき鋼板上にクロメート層と有機複合被膜層を有する有機複合被覆鋼板および電気亜鉛めっき鋼板が使用されている5車種を対象車とした。ミシガン州自動車登録名簿から電話による調査を実施し、その調査結果より条件(ミシガン州での走行期間:5 年、製造年式、走行距離:12.8 万

Table 2 Vehicles investigated

	Vehicle-A (1989)	Vehicle-B (1989)	Vehicle-C (1989)	Vehicle-D (1991)	Vehicle-E (1991)
Body style	2 doors	4 doors	2 doors	2 doors	4 doors
Period of running	1989-1995 5 years	1989-1995 5 years	1989-1995 5 years	1991-1997 5 years	1991-1997 5 years
Odometer	211 628 km	190 563 km	283 264 km	185 709 km	181 632 km

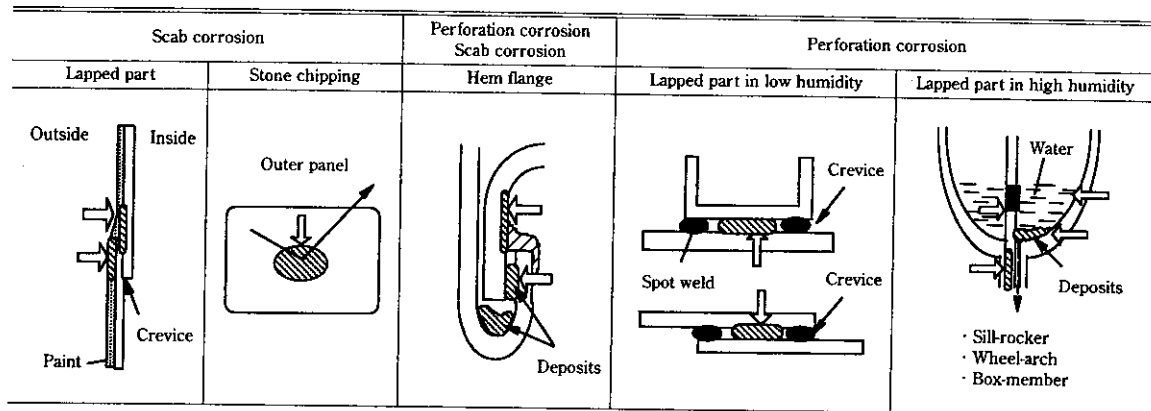


Fig. 1 Schematic design of corrosion of specific area of parts classified into a design and humid condition

km 以上、無事故)を満足する車を各 30 台抽出した。その各 30 台について、外観腐食観察による市場調査を行った。そして最も腐食程度の厳しい車各 1 台 (計 5 台)を購入し解体腐食調査を行った。回収車の概要について Table 2 に示す。

2.2 市場調査方法

各 30 台ごとの外観腐食調査は、調査表に基づき実施した。調査部位はフード、フェンダー、ドアなど 12 項目、腐食状態は各部品面積に対する錆発生面積 (%), スキャップ発生個数, 塗膜ふくれ幅 (mm), 孔あき腐食程度の 4 項目から分類した。さらに所有者による追加防錆処理の実施の有無についても調査した。

各調査部位での腐食程度を以下に示す評価基準を用いて評価した。

- (1) 錆発生面積: 0%, 0-1%, 1-10%, 10-50%, >50%
 - (2) スキャップ発生個数: 腐食が発生している箇所数
 - (3) 孔あき腐食程度: 0 = 腐食なし, 1 = わずかに腐食発生, 2 = 表面のみの腐食が発生, 3 = 深さ方向に腐食が発生, 4 = 孔あき腐食が発生
 - (4) 塗膜ふくれ幅 (mm): 最大ふくれ幅 (長径, 端面部から長さ)
- 外観腐食調査結果より各車種ごとの腐食部位を解析し, その腐食程度が最も厳しいものを回収し解体した。

2.3 回収車の解体方法

回収した車の機装品を取り外しホワイトボディーの状態にし, 縦方向に左右 2 分割したのち, 運転席のある片側半分のすべての溶接部を除去して解体し, 腐食部位を調査した。

2.4 孔あき腐食の評価方法

解体部品から腐食箇所を切り出した後, 塗膜はく離剤による塗膜除去および 5% クエン酸溶液による腐食生成物の除去を行った。鋼板の腐食深さの測定はマイクロメーターを用いた。腐食部分の腐食深さの最大 10 点の平均値をもって評価した。

2.5 腐食環境による腐食部位の分類

実車における外面錆と孔あき腐食の腐食状況を, Fig. 1 に示すような腐食環境 (湿潤程度) や施工方法で分類して評価した。外面錆の発生部位は, 鋼板合わせ部での腐食, チッピングによる腐食およびヘムフランジ部に分類した。孔あき腐食は, 一般に腐食が厳しいとされるヘムフランジ部, 鋼板合わせ部付近が袋構造で水が抜けにくく湿潤程度が高いと思われる部位 (サイドシル, メンバ類, リアホイール類) およびそれ以外の鋼板合わせ部位に分類した。

3 実験結果および考察

3.1 市場調査結果

1989 年式の 3 車種について, 外観で判断される各部位の腐食発生比率 (腐食発生台数/調査台数) を Fig. 2 に示す。全調査台数 (3 車種) の母数は 90 台, 各車種の母数は 30 台である。

全体 (90 台) でみると, 最も数多くの車が腐食していた部位はドアヘムコーナーが 49% であり, ドアヘム一般部が 38% であり, そしてサイドシルが 36% であった。それらの部位は, 車の種類による腐食発生比率の格差が他の部位に比べて大きかった。おそらく施工方法や局部防錆処理状態の違いが腐食発生に影響を及ぼしたものと考える。

3.2 回収車の腐食調査結果

3.2.1 外面錆

解体前の外面錆発生個数について, 部位別の一覧を Table 3 に, 腐食環境で分類したものを Fig. 3 にそれぞれ示す。Fig. 3 に示すように, 他部品との合わせ部での外面錆が最も多く認められ, 合わせ部を起点とした塗膜下腐食であった。チッピング傷部は, フード, ドアおよびフェンダーなどで認められ, 塗膜剥離が観察されるものの外面錆は一部の車を除きほとんど認められなかった。Fig. 3 で示

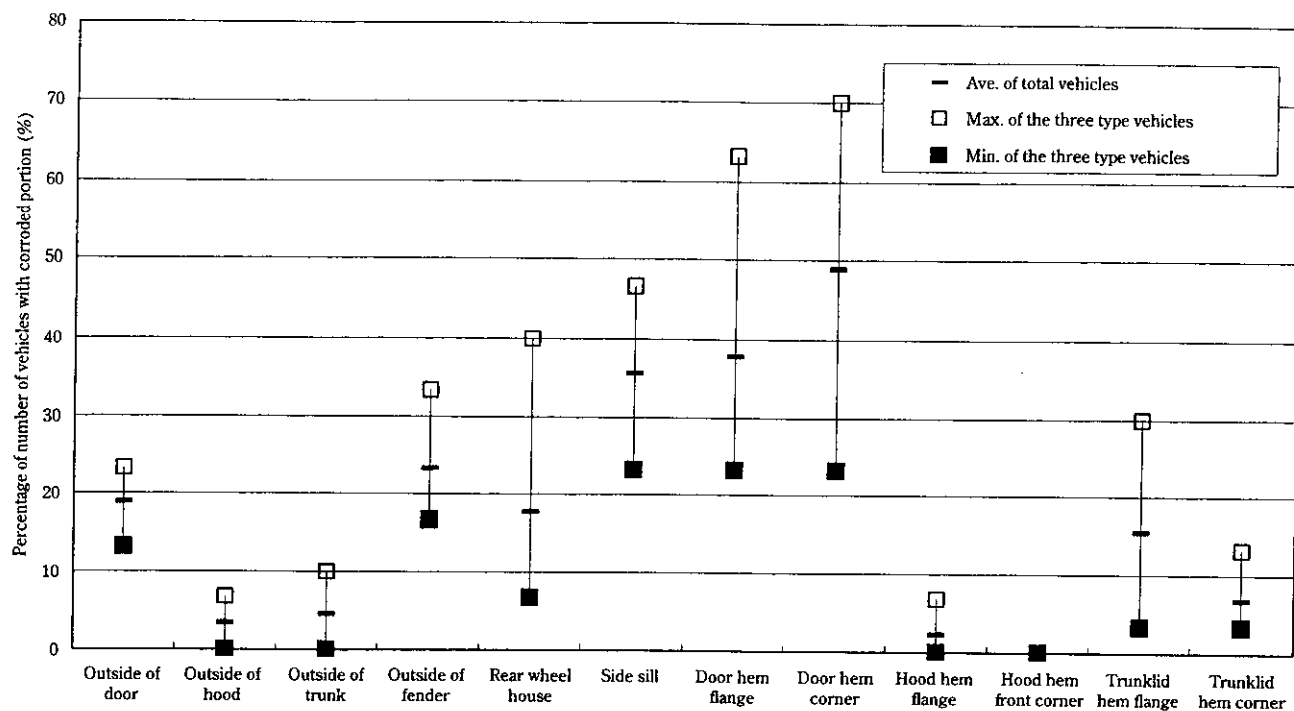


Fig. 2 Comparison of survey results at each of body part

Table 3 Number of scab corroded parts

Corrosion type	Parts	Vehicle-A	Vehicle-B	Vehicle-C	Vehicle-D	Vehicle-E
Lapped part	Pillar outer	2	5	4	1	4
	Side sill outer	3	1	3	1	1
	Quarter panel	4	5	2	2	0
	Rear end panel	5	2	2	0	2
Stone chipping	Hood outer front	4	0	0	0	0
	Door outer	3	0	1	0	0
	Front fender	2	0	0	0	1
Hem flange	Hood hem	2	0	0	0	0
	Door hem	1	3	1	0	0
	Trunklid hem	2	1	0	2	0
Number of scab corroded parts		28	17	13	6	8

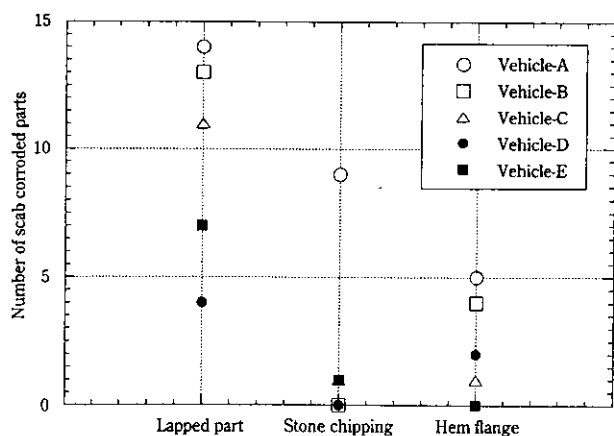


Fig. 3 Scab corrosion at each of the part

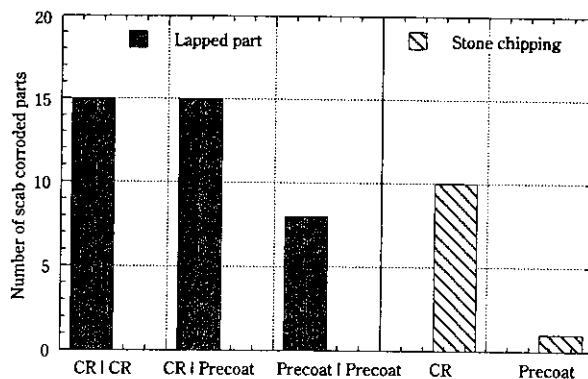


Fig. 4 Effect of zinc coating on anti-scab corrosion

したデータを、鋼板種類の組み合わせによる外面錆発生への影響およびチッピング傷部の外面錆発生に及ぼす Zn 系めっきを施すことの効果についてまとめたものを Fig. 4 に示す。冷間圧延鋼板だけ

の組合せと冷間圧延鋼板面（片面めっき材も含む）と Zn 系めっき鋼板面の組合せの場合で外面錆発生数は同じであるが、Zn 系めっき鋼板だけの組合せでは外面錆発生数は約半分に減少していた。つまり車体外面の鋼板合わせ部における腐食環境では、冷間圧延鋼板面が存在すると Zn 系めっき鋼板の防錆性は十分に発揮でき

Table 4 Comparison of a performance of perforation corrosion

	Vehicle-A (1989)	Vehicle-B (1989)	Vehicle-C (1989)	Vehicle-D (1991)	Vehicle-E (1991)
Lapped part in low humidity	Cowltop outer (CR) Front pillar outer (CR) Front pillar inner-up (CR)	Center pillar outer (CR)	Cowltop inner (CR) Strut house panel (precoated) Front side member (precoated) Rear floor pan (2) (CR) Rearend panel (CR)		
Lapped part in high humidity	Dash side (CR) Front floor pan (precoated) Side sill outer (precoated) Side sill inner-reinforcement (precoated) Rear wheel house outer (precoated) Rear wheel house inner (precoated)	Quater panel (3) (precoated) Rear wheel house outer (precoated) Rear wheel house inner (CR)	Rear floor side member (3) (CR) Side sill outer (precoated) Side sill inner-ext (precoated) Rear wheel house outer (precoated) Rear wheel house inner (CR)	Sidepanel (side sill) (precoated)	Front pillar outer-low (CR) Center pillar outer (CR) Center pillar reinforcement lower (CR) Rear wheel house outer (precoated)
Number of perforation occurred parts	9	6	13	1	4

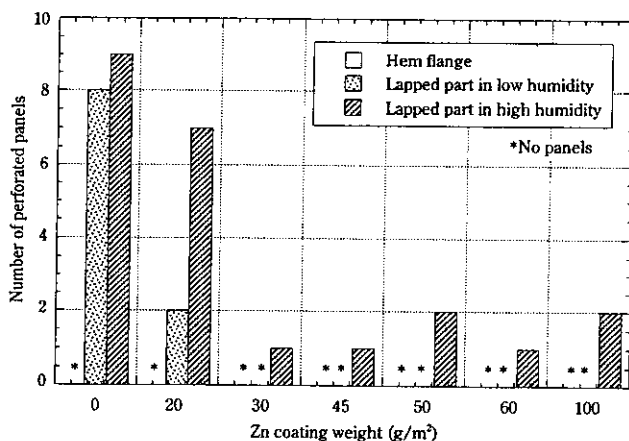


Fig. 5 Effect of zinc coating weight on anti-perforation corrosion

ないが、両面に Zn 系めっきを施すことにより耐外面錆性は大きく改善される。チッピング傷の外面錆は、Zn めっきの効果が大きく、冷間圧延鋼板面に比べて外面錆発生数は 1/10 であった。すなわち車体外面錆の発生防止には両面に Zn 系めっきを施すことが有効である。

3.2.2 孔あき腐食

解体後の孔あき腐食の発生部位と発生個数の一覧を Table 4 に示す。鋼板合わせ部付近で袋構造になっていない部位の孔あき発生個数は 10 個、一方、袋構造部になっている部位の孔あき発生個数は 23 個であり、袋構造部において腐食が促進されることがわかる。この原因は、袋構造部は入ってきた水が抜けにくく、腐食を促進する水と塩が長期間存在するためであると推察する。

Fig. 5 に孔あき発生個数を Zn 系めっき付着量で整理した結果を示す。袋構造部になっていない合わせ部では冷間圧延鋼板および 20 g/m² 以下の Zn 系めっき鋼板が孔あき腐食を発生していたが、30 g/m² 以上の Zn 系めっき鋼板では孔あき腐食は認められなかった。一方、湿潤度の高い袋構造部においても Zn 付着量の増加により

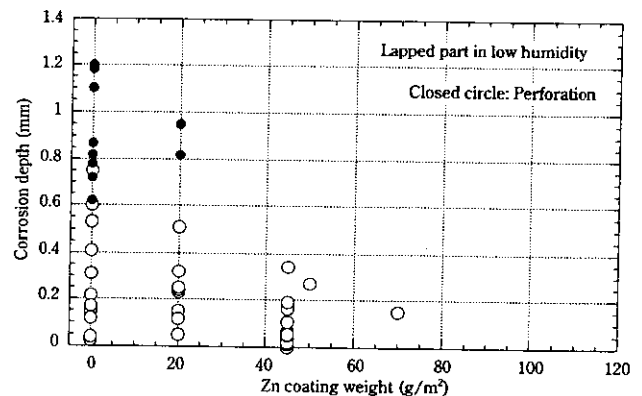


Fig. 6 Relation between Zn coating weight and corrosion depth at the lapped part in low humidity of field vehicles for 5 years

孔あき腐食発生数は減少する傾向はみられた。しかしながら、30 g/m² 以上の Zn 系めっき鋼板でも、一部に孔あき腐食の発生がみられた。

Fig. 6 に袋構造部になっていない合わせ部の腐食深さと Zn 付着量の関係を示す。Zn 付着量の増加にともなって腐食深さが減少していることが分かる。鋼板合わせ部付近が袋構造になっていない湿潤度の低い部位においては、Zn 付着量の効果がみられ、Zn 付着量が 45 g/m² 以上の Zn 系めっき鋼板は優れた防錆性を示す。

Fig. 7 に袋構造部で湿潤度の高い部位の腐食深さと Zn 付着量の関係を示す。袋構造部になっていない合わせ部とは異なり、Zn 付着量の増加にともなって腐食深さが減少する傾向は明確ではない。袋構造部では Zn 付着量が 100 g/m² の Zn 系めっき鋼板でも孔あきがみられた。孔あき腐食が多く発生していた部位の腐食状況を見ると、腐食部分には泥の付着が確認された。Table 5 に車体に付着していた泥の化学分析結果を示す。泥中には陰イオンとして腐食を促進させる塩素イオン (Cl⁻)、陽イオンとしてアルカリ金属 (Na⁺) およびアルカリ土類金属 (Ca²⁺) が含まれていることがわかつ

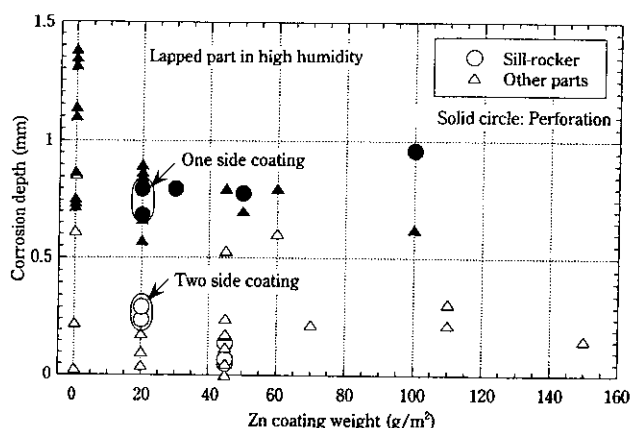


Fig. 7 Relation between Zn coating weight and corrosion depth at the lapped part in high humidity of field vehicles for 5 years

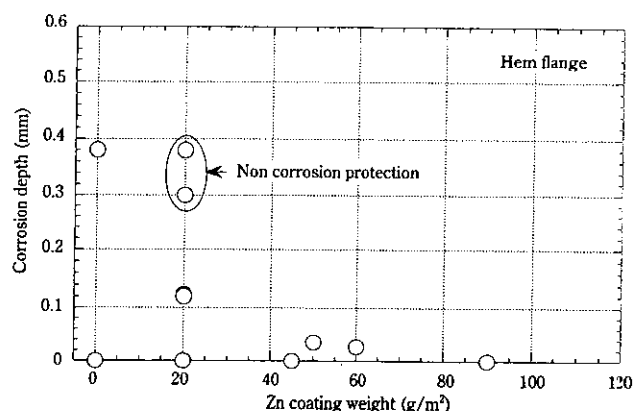


Fig. 8 Relation between Zn coating weight and corrosion depth at the hem flange of field vehicles for 5 years

Table 5 Quantitative analyses of the mud adhered to panel

	(mass%)					
	Cl	Na	Ca	Mg	Fe	Zn
Front side member outer	8.16	—	—	—	—	—
Front side member outer-rear	1.50	1.31	6.96	2.13	5.38	2.35
Front side member inner	16.90	10.86	7.27	1.55	2.35	0.61
Front floor side member-front	1.84	—	—	—	—	—
Front floor side member-rear	1.51	0.98	8.92	2.32	2.53	4.22
Side sill outer	3.26	1.42	8.92	2.46	3.52	7.74
Center pillar inner lower	1.51	1.02	8.60	2.18	3.06	7.79
Rear floor cross member	3.92	—	—	—	—	—
Rear wheel house outer	0.29	0.86	7.96	2.04	1.79	0.12
Rear wheel house inner	0.07	0.83	7.16	1.82	5.42	0.79

た。坂内¹⁰⁾は、北米の寒冷地域では冬季における路面の凍結防止対策として、塩化ナトリウムや塩化カルシウムを含有する岩塩が散布され、融雪塩散布後の雪解けで塩分を含んだ泥が車輪ではね上げられ、車両に付着し、腐食の原因になるということを報告している。今回の解体車に付着していた泥の成分は岩塩の成分と一致する。す

なわち、泥中の塩素イオンは道路に散布された融雪塩に起因する。融雪塩を含んだ泥水は、後輪に巻き上げられて車体内に侵入し、サイドシルのような袋構造部では、長期的に濡れ状態であったと推定される。Zn 系めっき鋼板にとって、長期的な濡れ状態で塩素イオンの存在する腐食環境は極めて厳しいといえる。

Fig. 7 より袋構造部で Zn 付着量が 20 g/m² の両面めっき鋼板でも孔あき腐食が生じないものがあつた（シルとロッカーの合わせ目）。この車体の腐食部位には泥の付着はみられず、孔あき腐食を生じた車体とは異なり、長期的な濡れ状態はなかったと推定される。なお泥の付着がなく長期的な湿潤状態におかれていないと推定される 20 g/m² の片面めっき鋼板を用いた車体のシルとロッカーの合わせ目には孔あきがみられた。同じ腐食環境でも片面めっきを両面めっきにすることによる孔あき腐食に対する防錆効果は大きいといえる。

Table 4 に示したように今回実施した調査でドアヘムフランジ部には孔あき腐食は発生していなかった。一般にヘムフランジ部は、従来から孔あき腐食の厳しい部位とされている。局部防錆処理のない冷延鋼板は、北米では約 3 年で孔あき腐食が発生する（腐食速度：0.3 mm/y）と報告されている^{11, 12)}。今回の回収車の局部防錆処理状況を Table 6 に示すと、ドアヘムフランジ部にはほとんどの車種で局部防錆処理（アドヒーズ、シーラー、ワックス）が施されており、局部防錆処理の効果がみられたと考えられる。

Fig. 8 にヘムフランジ部の腐食深さと Zn 付着量の関係を示す。Zn 付着量が 20 g/m² の Zn 系めっき鋼板において、局部防錆処理のある車体の腐食深さが減少しており、局部防錆処理の効果がみられた。また、Zn 付着量の増加による腐食深さの減少がみられた。冷間圧延鋼板は約 0.4 mm であるのに比べて 45 g/m² 以上のめっき鋼

Table 6 Summary of additional corrosion protection

Protection schemes	Vehicle-A	Vehicle-B	Vehicle-C	Vehicle-D	Vehicle-E
Door hem-adhesive	○	×	○	○	○
Door hem-wax	○	×	○	○	○
Engine room-seam seal	×	○	○	○	○
Dash panel-seam seal	×	○	○	○	○
Under floor-seam seal	×	○	×	○	×
Under floor-wax (black)	×	×	○	○	○
Side sill + floor-seam seal	○	○	○	○	○
Wheel house-coat (black)	○	×	○	○	○
Wheel house-seam seal	○	○	○	○	○

○ : Add, × : Non

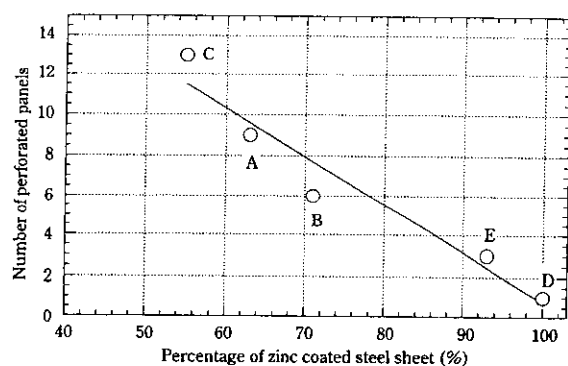


Fig. 9 Correlation between percentage of zinc coated sheet forming the vehicle body shell and number of perforated panels

板は 0.1 mm 未満であった。ヘムフランジ部の孔あき腐食においても、Zn 系めっき鋼板の使用による効果は大きいといえる。45 g/m² 以上の Zn 系めっき鋼板と局部防錆処理を併用することで優れた防錆性が発揮される。

3.3 Zn 系めっき鋼板使用比率の効果

Fig. 9 に Zn 系めっき鋼板使用比率と孔あき発生数の関係を示す。Zn 系めっき鋼板使用比率の増加にしたがって、孔あき発生数数が減少している。つまり車体防錆性能が向上していることが明らかである。車体防錆仕様（構造、局部防錆処理、塗装の改良）の効

果はあるものの、Zn 系めっき鋼板の使用による防錆性向上への寄与は大きい。

4 結 言

北米 5 年走行車の解体腐食調査を行い、腐食状況を車体部位で分類して Zn 系めっき鋼板の耐外面錆性および耐孔あき性を評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 車体外面の鋼板合わせ部での Zn 系めっき鋼板の耐外面錆性は、冷間圧延鋼板面が存在すると十分に発揮できないが、両面に Zn 系めっきを施すことにより大きく改善される。またチップング部の耐外面錆性も、Zn 系めっきを施すことの効果が大きくみられた。
- (2) 袋構造になっていない鋼板合わせ部位においては、Zn 付着量の増加により耐孔あき腐食は改善される。特に 45 g/m² 以上の目付量では孔あき腐食がみられず、優れた耐孔あき性を示す。
- (3) 一部車体の袋構造部には、融雪塩を起因すると思われる塩素イオンが存在し、また長期的に湿潤環境に曝されていることが推定された。袋構造部で、片面めっきを両面めっき化することによる耐孔あき腐食改善効果がみられた。
- (4) ヘムフランジ部の孔あき腐食において、局部防錆処理の効果がみられた。また Zn 付着量の増加による耐孔あき性は改善される。
- (5) 車体全体の孔あき腐食発生数は、Zn 系めっき鋼板の使用比率の増加に従って明らかに減少する。Zn 系めっき鋼板の使用による防錆性向上の効果は大きい。

参 考 文 献

- 1) 持館 武：防食技術, 38(1989), 665
- 2) 鶴田光男：色材, 54(1981), 706
- 3) 林 公隆, 伊藤陽一, 三吉康彦：新日鉄技報, (1994)353, 9
- 4) M. Uchida, S. Kurokawa, and K. Mochizuki: "Corrosion Behavior of a Vehicle Submitted in Service in Subtropical Marine Environment of Okinawa Island for Eight Years," Int. Cong. and Expo., SAE, Detroit (USA), Feb. (1995), 960021
- 5) 黒川重男, 内田守重, 望月一雄：川崎製鉄技報, 27(1995)3, 163-168
- 6) T. Kurimoto, Y. Hoboh, H. Oishi, and K. Yanagawa: "Corrosion Performance of Zn-Ni Alloy Plated Sheet Steel in Automotive Body Panels," Int. Cong. and Expo., SAE, Detroit (USA), Feb. (1983), 831837
- 7) S. Hedlund: "Rust Status of Cars with an Anti-Rust Guarantee in the Nordic Countries," Int. Cong. and Expo., SAE, Detroit (USA), Feb. (1993), 932350
- 8) A. W. Bryant, G. Hook, L. M. Thompson, J. Schroeder, and W. C. Oldenberg: "U.S. Automotive Corrosion Trends at 5 & 6 Years," Int. Cong. and Expo., SAE, Detroit (USA), Feb. (1989), 892578
- 9) T. C. Simpson, A. W. Bryant, G. Hook, R. A. Swinko, and R. W. Miller: "U.S. Automotive Corrosion Trends Over the Past Decade," Int. Cong. and Expo., SAE, Detroit (USA), Feb. (1995), 950375
- 10) 坂内恒雄：表面技術, 46(1995), 487
- 11) Y. Miyoshi, Y. Ito, L. E. Soreide, and D. D. Davidson: "Corrosion Protection Functions Zinc Coating on Steel Sheet, as Revealed by the Investigation of Field Cars and Laboratory Test," 2nd Int. Conf. on Zn and Zinc Alloy Coated Steel Sheet Galvatec '92, Verlag Stahleisen mbH, Dusseldorf, (1992), 528
- 12) G. Van de Streek: "Hem Flange Evaluation of Corrosion Performance," Int. Cong. and Expo., SAE, Detroit (USA), Feb. (1985), 850565