(色材, 54 [11] 706-713, 1981)

自 動 車

鶴 田 光 男*・保 科 和 宏*

1. 自動車さびの概況

自動車のさび問題は、モータリゼーションの発展に伴い発生してきた。その第一ステップは、自動車の普及発展期の米国、欧州、日本の温暖～寒冷地域での一般的なさびである。このさびは、主として湿気によるマイルドなものであった。

第二ステップとしては、自動車の経済活動への浸透に伴い、冬期の寒冷地域において自動車の輸送力を確保するため、ハイウェイに凍結防止用塩類を大量に散布することによる塩泥さびである。これは 1965 年頃から欧州、北米を中心に顕在化し、大きな問題となっている。

第三ステップとしては、いわゆる低緯度地域の高湿多湿海洋性気候に起因する海塩さびである。現在この地域は、ほとんどが発展途上国に属するため、数的には顕在化していないが、さびのポテンシャルを秘めているといえよう。

一方、自動車のさびを現象面からみると、車の外面に発生し外観性を損う「外観さび」、車体鋼板の内外面より進展して孔あきを生ずる「孔あきさび」、そして車体の強度部材、走行安全部材の強度を損う「構造さび」の三つに分類することが出来る。

以上のさびの分類、現象、程度等を整理すると、表-1 のようになる。

では、自動車の防せい（錆）はどの水準にあるのか？ 前述のように、自動車のさびは三つのステップに分けて考えられる。この第 1 ステップについては、日、米、欧の自動車メーカー各社は、対応技術を確立している。

第 2 ステップについては、1965 年頃から顕在化し種々の対策が行なわれてきたが、さびが車両の使用経過に

伴い順次発生して来ること、使用環境がこの 15 年間に急激に変化して来たことのため、その対策の効果に対する評価は固まっていない。

図-1、図-2 に米国における融雪塩使用量の推移、および腐食環境分布図を示す。図-3¹⁾は、米国州道のマイル当たり塩散布量を示したものである。

現在でも、自動車各社の防せい（錆）仕様が、毎年変化しているのが実状である。

第 3 ステップについては、第 2 ステップの技術を応用すれば対応は可能であろう。

2. 自動車に求められる防せい性能

(1) 法的規制と車両寿命

自動車の防せいを考えるとき、自動車が工業的商品である以上、過不足のない品質とすることが前提であり、一般的車両寿命と法的規制は重要な目安となる。

表-2 に、日、米、欧の廃車年数、すなわち 50% 廃車および、90% 廃車となるまでの年数を示す。表-3 にはカナダおよび米国の規制を示す。自動車メーカー各社は、これをクリアすべく、それぞれ独自の目標性能を定め、対策に取組んでいる。

表-1 自動車のさびの分類、現象程度*1

ステップ		1	2	3
分類		湿気さび	塩泥さび	海塩さび
自の動現車象で	外観さび	△	×	×
	孔あきさび	○	×	×
	構造さび	◎	×	△
代表的地域		日本	北 欧 北米 (スノ ーベルト)	低緯度地域

*1 ◎：問題ない
○：あまりきびしくない
△：ややきびしい
×：きびしい
××：非常にきびしい

昭和 56.8.5 受理

Rust Protection of Vehicle

Mitsuo TSURUTA and Kazuhiro HOSHINA

* 日産自動車(株) 第 2 技術部

東京都中央区銀座 6-17-1 (〒104)

図-1 米国における塩の散布量
(Salt usage in U.S. and corrosive environment, Estimated by "Automotive Industries", March 15, 1976)

図-2 米国におけるさび環境
(Salt usage in U.S. and corrosive environment, Estimated by "Automotive Industries", March 15, 1976)

図-3 1969～1970 年冬期における州道の塩散布量 (トン/マイル)

以下に各種さびについての対応策を述べる。

(2) 第1ステップ「湿気さび」

これは、全般的にマイルドなさびであり、各種部品組付時の、塗膜キズ付対策および通常の前処理化成被膜の上に電着塗料塗膜 10～15 μm を塗装することにより十分な防せい力が得られる。

(3) 第2ステップ「塩泥さび」

塩泥さびについては、未だ完全に技術が確立したとはいえない状況にあり、現在、鋭意検討の段階であるので、出来るだけ細かく記したいと思う。また、第3ステップの「海塩さび」については、この技術の延長線上で解決出来ると考えているので、ここで一緒に論じたい。

表-2 日米欧廃車年数 (乗用車)* (年)

廃車率 \ 国	日本	米国	西独	英国
50%	7.5	10	11	7
90%	10	14	15	13

S53年版「陸運統計要覧」運輸省

S54年版「日本の自動車工業」自工会

表-3 カナダ及び米国の法規制

	外観さび	孔あきさび	構造さび	備考
カナダ さびガイドコード	1.5年	5年	6年	拘束力なし
アメリカ NHTSA 安全条項	—	—	8年	〃 有り

AN EXAMPLE OF THE CLASSIFICATION OF BODY CORROSION

SEVERITY OF CORROSION	SEVEREST	SEVERE	MODERATE
FORM OF CORROSION			
CORROSION ON BODY SURFACE	S - I	S - II	S - III
PERFORATION OF PANELS	P - I	P - II	P - III
FUNCTIONAL DAMAGE OF VEHICLE	F - I	F - II	F - III

図-4 車体さびの分類

塩泥さびは、米国北部、カナダ、北欧において、降雪と雲天が続く冬期、ハイウェイ上には、融雪塩により、ドロドロのシャーベットとなった雪があり、これが車両下部の袋部、閉断面内に浸入する。これらの地方は、1年のうち、5~6ヵ月間、雪が融けないため、前述の車両各部は、毎年約半年間、塩泥づけとなり、孔あきさび、構造さびが進展するわけである。

また、上記融雪塩には、岩塩が使用され、スリップ防

止のため、直径 3~8 mm の小石が併用される。このため車両の外板には、自車および他車が巻き上げた小石、小氷塊が、車速、100~120 km/H で衝突し、チッピングを発生させる。このチッピングが、素地鋼板まで達すると、外板に付着している、塩水によりカサブタ状のスキップさびや、系さびとなって、外観さびが発生する。

図-4 に自動車の部位別さび環境区分を示す。

3. 具体的防せい方法

前項では、自動車に求められる防せい力について述べたが、ではどのようにして、この防せい力を付与するか。これは、車体設計、鋼板素材、車体組立(溶接)、塗装、臓装組立、完成車処理の各段階ごとに適切な手を打ってゆく必要がある。

(1) 車体設計段階

- イ. 前述の部位別さび環境区分でのべた、重要部位には、閉構造部、狭隘部を極力減す。
- ロ. 特に床下構造部は、塩泥の堆積しない構造とする。
- ハ. 止むを得ない閉構造部などには、電着塗料が十分つきまわるよう、電流孔、水抜孔、空気抜孔を設ける。
- ニ. また、完成車両時点で、防せいワックスなどの後処理の為の作業孔の配慮が必要である。
- ホ. 車両走行時の水はけ、換気も重要である。
- ヘ. 装飾モールなどは、組立時、塗膜にキズをつけたら電食の原因となるので、極力少なくする。
- ト. チッピングを受けやすい部位は、塗膜が露出しないデザインとする。

(2) 鋼板素材

- イ. 車体は、薄板鋼板を溶接し組立てるものであるから、パネル接合部や閉断面構造部に完全な塗膜保護を実施することは、不可能であり、不十分な電着単独塗膜のみとなる場合が多い。
- ロ. この電着塗膜で、前述のカナダコード、米国安全条項を満たすことは不可能である。
- ハ. 従って、あらかじめ塗装、メッキなどの処理をした表面処理鋼板(ジंकロメタル、多相メッキ鋼板など)を必要に応じて使用する。
- ニ. なお、これらの素材は、プレス成型性、スポット溶接性で、普通鋼板とは異った特性を有するので、対応技術を確立する必要がある。
- ホ. Zn系メッキを使う場合には、メッキ面の犠牲腐食による塗膜ハクリを避けるため、メッキ面が、外面に出ないように配慮を要する。

(3) 車体組立

イ. 塗装以後の工程で、防せい処理が出来ない部位で、かつ、前記表面処理鋼板も使用出来ない場合、車体組立工程で、ジंकリッチプライマーや特殊防せい材を塗布する必要がある。

この時、注意を要するのは、プレス油などの油類を十分に溶剤ワイブなどで除去してから適用することと同時に、油分吸収性の防せい材を選定することである。

(4) 塗装

塗装の目的が、装飾にあることは、いうまでもないが、防せいの観点から見ても塗装工程に負うところは非常に大きい。自動車塗装工程は、以下の6工程から成るのが普通である。

- ① 前処理(脱脂、被膜化成)工程
- ② 電着下塗り工程
- ③ シーリング、アンダーコート(U/C)、ストンガードコート(SGC)工程
- ④ 中塗り工程
- ⑤ 上塗り工程
- ⑥ 防せいワックス工程

しかし、自動車の全内外面にこの6工程が、施工されるわけではなく、このうち2~4の工程の組合せにより、防せいを行なうことになる。以下に、各工程と防せいとの関連について順次述べる。

イ. 前処理(脱脂、被膜化成)工程

車体各部、特に閉断面内部やパネル接合部内部まで十分な脱脂を行なうことと、緻密で均一な、リン酸亜鉛被膜をつくるのがポイントとなる。このためには、車体全体を浸セキして脱脂、化成を行なうディップ方式が適すが、次善の策として多量の処理液をスプレーして、局部的に浸セキ状態に近い処理を行なうフラッド方式がある。図-5にスプレー方式、フラッド方式、ディップ方式の概念図を示す。

図-5 各種前処理の概念図

ロ. 電着下塗り工程

自動車の下塗り塗装として、非常に重要な役割を担う塗装であり、閉断面構造の内面、パネル接合部にまで、十分なつきまわりを得ることと、強い防せい力を要求される。

これは従来、アニオン電着方式が用いられていたが、昭和52年末から約5~6倍の防せい力を有するカチオン電着が実用化され、採用され出した。昭和56年9月現在、90%以上の乗用車はカチオン化されている。図-6にアニオン電着とカチオン電着の、電着原理を示す。ここでカチオン電着が耐食性に優れる理由として、塗膜樹脂にエポキシ樹脂が主体として使えることと、電着時、被塗物が陰極となるため被塗物金属の溶出がないことがあげられる。

また、カチオン電着は、適切な前処理との組合せにより非常にすぐれた耐食性を示すが、図-7は、アニオンとカチオンで、それぞれ無処理、スプレー前処理、ディップ前処理と組合せた時の塩水塩霧試験とさび面積比率の関係を示したものであり、閉断面内部を想定して、膜厚10 μ (外板では20 μ が普通)としたデータである。

ハ. シーリング、UC、S.G.C. 工程

電着塗装後、車体の気密、水密を得る目的で、PVCシーリングが適用されるが、最近では、塩泥さび、海塩さび対策として、水密、気密に関係ない、パネル接合部、パネル端部のカバーリングに使用される。

また、車両走行時に、小石、小氷塊によるハードストンチップングを受けやすいフロントエプロン、

図-6 アニオン電着、カチオン電着の原理

図-7 車体閉断面内部を想定した電着薄膜部 (10μ) 耐食性

フェンダー下部、ボデーシル部には、PVC、SBR ラテックス、ウレタン、ポリエステルなどを素材とする、弾性と耐摩耗性のある SGC が塗布される。

床下面、ホイールハウス内についても、ハードストーンチップングを受けるので、従来のピチューメンデドナーに代えて、同上の SGC 材を塗布する。

ニ. 中塗り

従来、中塗り塗装には、保護膜的機能より、上塗り塗膜の平滑性、肉持ち感を出すという、装飾的機能が求められてきた。特に日本においては、その気候条件がマイルドな腐食環境であるためその傾向が強かった。

しかし、北米、欧州でのチップング問題を機に、中塗り塗膜の持つ保護的役割が見直され、この分野の研究が数多く行なわれ、すぐれた中塗り系塗料がオンラインされ出している。

これらの研究の中で、重要なエポックとなったのが、小山、坂内らによる「外板塗膜における石はね評価法の開発 (ダイヤモンドショット法)」である。

以下このダイヤモンドショット法と、改良された中塗り系塗装について簡単に紹介する。

まず自動車の受けるチップングであるが、これはストーンチップングと、ノンストーンチップングに分けられ、さらに、ストーンチップングは、フロントエプロン、ボデーシル、フェンダー下部のハードストーンチップングと、フード、ルーフ、ドア、フェンダー、などのソフトストーンチップングに区分出来る。ノンストーンチップングについては、トランクキーまわり、ガスフィラーリッドまわりなどの石、氷以外

の物の衝突によるチップングである。

従来、チップングの評価法として、グラベロメーター法、矢じり落下法などがあったが、これらは前述のハードチップングの再現、評価にとどまり、ソフトストーンチップングについては、十分な評価が出来なかった。すなわち、市場には、耐ソフトチップング性の良い塗装系と悪い塗装系が存在するにもかかわらず、グラベロ法では一様に、悪く出てしまい、その差が判別出来なかったわけである。

そこで、小山、坂内らは、1/20 カラット (10 mg) の正八面体ダイヤモンド結晶を用い、時速 100~200 km/H でショットすることにより市場のチップング現象を非常によく再現することに成功した。また、この試験法を用いチップング現象の解析と、塗膜に要求される物理特性の解析を行ない、塗料メーカーの協力のもとに、耐チップング性塗膜 (チップングプライマー=C/P) を現行中塗り塗料の下に W/W で塗装する。塗装系を確立した。

図-8 に自動車のチップングの分類と、発生部位評価法、対応技術について示す。

表-4 に、ソフトストーンチップングに影響をおよぼす因子、表-5 にソフトストーンチップング試験法の変遷を示す。

図-9 には、従来型の国内で入手出来る塗装系(A)と欧州において、耐チップング性が良いと評価されている塗装系(B)についてのダイヤモンドショット法によるチップング速度と、傷到達深さとの関係を示す。ダイヤモンドショット法がよく市場の評価と合致することが判る。

分類	主な発生部位	評価法	対応策	塗膜構成
ストーンチッピング	フロントエプロン サイドミル フェンダー下部 (含フランジ)	グラベロ メーター	★1 S.G.C	上塗 中塗 S G C E D
ソフトストーンチッピング	フード ルーフ フェンダー ドア	ダイヤモンド ショット法	★2 C/P	上塗 中塗 C/P E D
ノンストーンチッピング	キーまわり ガスファイラー リッド	↑	↑	↑

*1 ストーンガードコート

*2 チッピングプライマー

図-8 自動車のチッピング分類と対応法

図-10 は、C/P の膜厚とチッピング性能の関係を表わしたもので、従来の国内の塗装系に対しても C/P を適当な膜厚に塗装することにより、欧州のトップグループの性能になることが判る²⁾。

ホ. 上塗り

上塗りについて、現段階では防衛的な意味での改良は行なわれていない。今後の方向としては、より弾性を加味したものになるであろう。

表-4 ソフトストーンチッピングに影響をおよぼす因子

要因	主たる因子	内 容
石	衝突速度	高速域ほど厳しい (max 200 km/H)
	質量	重いほど厳しい(市場分析で 10 mg 以下 40% のデータあり)
	材質・形状	硬く、鋭角を持つほど厳しい
	飛しょう状態	石自体の回転
塗膜	単体物性	ヤング率・降伏応力・抗張力・ $T_g \cdot \tan \delta$
	膜厚効果	厚膜ほど効果大
	界面効果	塗膜界面でのエネルギー分散
環境	温度	低温での物性低下
その他	衝突角度	垂直に近いほど厳しい

図-9 チッピング速度と傷到達深さとの関係

ヘ. 防せいワックス工程

上塗り完了後、狭隘部、ドアボトム、ボデーサイドボトム、フェンダーボトムに、不乾性で、浸透性の良い防せいワックスを塗布する。

表-5 ソフトストーンチッピング試験法の変遷

試験法	方法	チップ材の質量	速度	力速	傷つき状況
矢じり落下法	矢じり 供試板	1 g 5 g	2 m落下: 22.5km/H	1 g→2.7 g・cm/s 5 g→13.9 g・cm/s	延性破面
矢じりショット法	エア ガイド 供試板 矢じり	1 g 5 g	180km/H (エア圧 2kg/cm ²)	1 g→500 g・cm/s 5 g→2,500 g・cm/s	衝撃力過大
鋼球ショット法	エア ガイド 供試板 鋼球	20mg	4	10g・cm/s	延性破面 但し繰返し再現性大
ダイヤモンドショット法	エア ガイド 供試板 ダイヤモンド	10mg	4	5 g・cm/s	市場再現
(参考) グラベロ試験	エア 供試板 砕石	約 1 g (7号砕石)	32km/H (エア圧 2kg/cm ²)	89g・cm/s	傷のばらつき大

図-10 C/Pの膜厚とチッピング性能の関係
(C/P: チッピングプライマー)

(5) 塗装組立

塗装部品の防せいとしては、その部品単体での防せい力向上と、車体組付時に塗膜のキズを防止することが重要なポイントとなる。すなわち、モール類のスペーサー取付、エンブレムの軟質樹脂化、タッピングスクリューのスクリューグロメット化、接着式モールへの変更などである。

(6) 完成車処置

完成車の処置としては、流通過程での防せいが主目的となるが、エンジンルーム内保護コート、車体保護コートが適用される。

4. 自動車の防せい力評価法

以上、自動車のさびの概況、求められる防せい力、具体的防せい対策について述べて来た。ここで、自動車の防せい力が真に市場の要求にマッチしたものであるか、適正に、短期間に評価することが重要になる。これは今後、安価で性能の良い、耐久力のある車をユーザーに提

図-12 複合腐食促進試験結果と塩水噴霧試験結果との関連

供するために、各種の新構造、新材料、新工法を導入するために不可欠である。

従って、さび評価法は、自動車メーカー各社が非常な努力をはらって開発しているものである。ここに、田代、山岡、小山らにより発表された「自動車の塩害評価試験法の開発」の中から要点のみを述べてみたいと思う。

これは、腐食環境が最もきびしいカナダ・ケベック地方(モントリオール中心)の気候条件などを徹底的に調査し、市場走行車両の回収、市場モニター車による実験などを繰返し、台上腐食促進試験、塩害耐久走行試験として完成した。

(1) 台上腐食促進試験

台上試験としては、従来から JIS Z 2371 に定められた塩水噴霧試験が使われて来たが、塩害地での自動車のさびを評価するのには、必ずしも適切ではない。

図-11 複合腐食促進試験法

表-6 塩害耐久走行試験法

Test procedure III	
Test period	10 weeks
Driving	○ Gravel road ○ Dust road ○ Salt bath ○ Salt water spray ○ Salt-mud bath ○ Follow-up driving on gravel road (2,600 km)
Corrosion chamber	Humidity
	○ 800 hrs. (40~60°C, nearly 100 %) ○ With hot bath
	Salt spray
	○ Salt spray 50 hrs. ○ Under-floor, salt spray ○ Blowing
	Freezing
	40 hrs.

図-13 塩害耐久走行試験結果と実車耐腐食性との相関 (カナダ、ケベック地方)

当社では、塩水噴霧、乾燥、湿潤、冷凍などを組合せた複合腐食試験 (CCT) を行なって、再現精度と・促進性を高めている。図-11 に各種 CCT の条件を示す。図-12 は、CCT 塩水噴霧テスト (SST) の相関を表す。CCT は、SST の約 2~3 倍の促進効果を持っている。

(2) 塩害耐久走行試験

図-14 塩害耐久走行試験結果と複合腐食促進試験結果との関連

さびを促進させる条件は、温度、湿度、降水などの気象条件、凍結防止塩の散布、車両の走行条件、駐車環境などである。試験場では、これらの諸要因を定量化し、短期間で、しかも現実性のあるさび促進が得られる試験プログラムが要求される。当社では、種々の改良検討の結果表-6 に示す、10 週間の塩害耐久走行試験法を完成した。図-13 に市場と塩害耐久走行試験との相関を示す。図-14 は、台上試験と、塩害耐久走行との相関を示したものである³⁾。

5. ま と め

自動車の防せいについては、さび問題の進展があまりにも急激であったため、現在緊急避難を終えて一段落したというのが実状であろう。今後共、防せいの車体設計、素材、工法の開発および評価法の精度と促進度の向上をはかってゆかねばならない。

参考文献

- 1) "Automotive industries", March 15, 1976
- 2) 小山 浩, 坂内恒雄:「外材塗膜における石はね評価法の開発」1981 年自動車技術会春季学術講演会前刷集, 811A16
- 3) 田代綾夫, 山岡成行, 小山 浩:「自動車の塩害評価試験法の開発」1980 年自動車技術会秋季学術講演会前刷集, 802A78