テーマ特集

自動車用材料とその接合技術

自動車の構造と溶接・接合技術*

近 藤 正 恒**

Body Construction and Current Issues of Welding Technology in Body Production*

by Masatsune Kondo**

キーワード：自動車，ボデー構造，ボデー剛性，防錆，軽量化，自動化

I. は じ め に

日本における乗用車の生産量は、今や世界のトップにあり、品質は世界をリードする立場にある。最近の自動車を取り巻く経済・社会・市場動向とユーザーニーズの変化をまとめたものを図1¹⁾に示す。

これらから自動車に対する課題を大きくまとめると国内外における市場競争の激化にともなう商品力の強化が

大きな課題の一つであり、これには振動騒音・操安性・安全性・燃費（軽量化）・防錆性能が関係する。またもう一つの大きな課題は労働力不足であり、組立工程を含め自動化が急速に進められている。

以上のような課題に対し、自動車の構造ここでは主にボデー構造と関係づけ、溶接・接合技術の果たす役割、現状、将来技術について論ずることとする。

	1990~1992	1993~1995
経済	東欧の自由化進展	東欧経済の活性化 新たな市場拡大
動向	NIESの台頭	ASEANの台頭
	中近東の政情不安→原油価格の上昇傾向	
	内需の拡大	インフラの整備充実 高速道路建設 第2東名
社会	・女性の社会進出→消費の拡大	・価値観の多様化
動向	・労働者の2次産業離れ（3K回避）・労働者不足の慢性化・急激な高齢化の進展	・富の2極分化
	1900Hr	1800Hr（2000年）
	米国新CAFEによる燃費低減	20%減（'95） 40%減（2000年）
	温暖化酸性雨問題に対する規制の強化 CO ₂ 、フロン、NO _x 、SO _x の排出規制	
市場	国内外における市場競争の激化→商品開発技術開発競争の激化	
動向	・輸入車増大・トヨタCS-No.1活動	・海外生産本格化
		・トヨタ600万台体制

*原稿受付 平成3年3月22日

図1 自動車を取り巻く環境・ニーズの変化

**正 員 トヨタ自動車株式会社 開発部 Member,
Toyota Motor Corp. Production Engineering Development Div.

II. ボデー構造の現状

乗用車のボデー構造²⁾を歴史的にみると、今でもトラックには広く採用されているフレーム付構造でスタートした。フレーム付構造の利点を列記すると、①強度・剛性が独立したフレームにより得られる。②フレームとボデー間のゴムマウントで振動絶縁できるので静かな車室を作り得る。③衝突時にエネルギー吸収の良いフレームを採用できる等利点も多いが、①重量が増加しやすい。②車両全高が大きくなりやすい。③コストが高い等の欠点もある。

これに対し、現在主流である単体構造(ユニットボデー)は、セパレートフレームは持たないが車両の前後懸架装置取付部に厚板のメンバをボデーに直接溶接している。更に、大半の車両がエンジン前部支持及び前輪懸架装置を取付けるフロントサスペンションメンバを、また後輪独立懸架を採用している車両は、後輪にもリヤサスペンションメンバを持っておりフレーム付構造と同様ゴムマウントを設け、車室への振動騒音の遮断を図っている。しかし振動源となる懸架系のすべての取付部をサスペンションメンバに設けることは不可能であり、薄板構造の車体自身に直接外力が加わるので、どうしても複雑な車体構造が要求される。

単体構造の利点を列記すると、①フレーム構造より重量軽減ができ、曲げ・ねじれ剛性共に高い車体を得やすい。②室内空間が有効に利用しやすい。③コスト的に有利等があげられる。一方欠点としては、①振動騒音が車室へ入りやすい。②衝突により破損した場合修理が難しい。③薄板構造である為腐食に対し十分な配慮が必要等がある。

その他の構造として、単体構造ボデーが床構造とルーフ及び側面骨格で構造応力を受け持つのに対し、外皮と胴枠で構造応力をささえるモノコック構造があり、ロータス25フォーミュラカーに採用された実績があるが、今までのところこの構造はボデーシェル上面に比較的小さな開口部しか持たないレーシングカーに採用されているのみである。一般にモノコック構造というと単体構造をさす場合もあり、混同されていることに注意を要する。

以下、単体構造のボデーを対象に(1)剛性(2)防錆(3)軽量化(4)自動化について、その現状と関連する接合技術の問題点及び将来動向について述べる。

III. ボデー剛性

近年は燃費改善・動力性能向上の為に軽量化が強く求められ、強度と剛性を保ちつつその実現をはかる技術開

発がなされている³⁾。さらに最近では特に、NVH (Noise Vibration and Harshness)、操縦安定性の向上、衝突特性を改善する高いボデー剛性が開発ターゲットにされており、FEM 有限要素解析を構造検討に使用することが常態化している。その例を図2に示す⁴⁾。

図2 車体振動解析モデル

図3 剛性向上結合部の例

制振積層鋼板

図4 積層制振鋼板の材料構成

これらの検討の結果、効果の大きなものはボデー骨格結合部の強化で、最近モデルチェンジしたコロナでは図3に示す構造が織り込まれている³⁾。これは特に重要な乗用車車体側面の支柱であるセンターピラーの上下結合部をリインフォースメント等の部品を追加することにより強化したもので、これによりボデー振動共振点の向上と振動レベルの低下が得られている。

また、制振性能を上げる方法としてはレクサスに採用した制振鋼板がある。制振鋼板は2枚の表皮鋼板間に図に示すような粘弾性樹脂が存在し振動を減衰する。この優れた鋼板も車体への加工技術、特に溶接技術に大きな問題点をかかえている⁴⁾。

その問題点は制振鋼板の表皮間の樹脂が電気絶縁体で導通しない為抵抗溶接が難しいことにある。これを解決する方法として最近では導電性を有する主に金属粉を樹脂内に分散し、表皮間を短絡し直接抵抗溶接を可能にしている。この種の板は、開発初期には図5、6⁵⁾に示すような表皮材の焼き切れ・孔あき等の不具合が発生したが、

図5 制振鋼板表皮溶融部断面

図6 制振鋼板表面外観

図7 制振鋼板プロジェクション溶接部断面

最近では導電粉の材質・粒度・分散度の最適化を図ることにより安定した溶接が可能になっている⁷⁾。制振鋼板の溶接性については、図7に示すようにプロジェクション溶接ではかえってナゲットが出来やすくなる等良好な場合もあるが、本質的には2枚板であり、図8に示すような表皮間にナゲットのない場合、強度部材への適用にあたって制振鋼板を表皮1枚分の板厚と考えるか、2枚分の板厚と考えるかの考え方をはっきりさせて設計にあたる必要がある。

IV. 防 錆

自動車に対する防錆性能向上の要求は、1)北米・カナダ等寒冷地での融雪塩散布量の増加、2)自動車の平均寿命増加と中古車市場での優位性確保から、錆保証期間の延長につながり、アメリカ BIG3 ではいわゆる「10-5-2-1」(耐孔あき10年、耐外面さび5年、耐エンジンルームさび2年、耐床裏部品さび1年)の目標が打ち出されている。

防錆対策には様々な方法が考えられるが、大別すると図9のごとくなる⁸⁾。ここで構造設計と防錆材料(主として防錆鋼板)を重視するのが従来のアメリカ型、塗装設計と局部防錆処理を重視するのが欧州型で日本はこの中間といえた。しかし、近年はいっそうの防錆性能向上からこれらの区別がなくなりつつあり、例えばオーディオの様にすべてのボデーパネルを防錆鋼板化した車も出現し、防錆鋼板の使用比率は確実に増加している。また亜鉛目付量の増加、より高防錆性能を有する新防錆鋼板の開発導入が進んでいる。

言うまでもなくこれらの鋼板は、普通鋼板に比べ溶接

図8 制振鋼板表皮間未溶融ナゲット

図9 防錆対策に関する基本的考え方

図 10 亜鉛付着量と連続打点性の関係 (その 1)

図 11 亜鉛付着量と連続打点性の関係 (その 2)

性が劣り、ボデー生産上の最大のネックになっている。本章では詳細な説明は他に譲るが、2, 3 の問題点を指摘しておきたい。

図 10⁹⁾と図 11¹⁰⁾は亜鉛目付量に対する連続打点性を示している。一般的には図 10 のごとく目付量に従って連続打点性は悪化し、事実日本で発表されたデータはこの傾向を示すが、アメリカでは図 11 のごとく目付量によって連続打点性がほとんど変わらないとの報告もあり、これは試験評価方法によりデータが大きく変化することを示している。このような評価の混乱をさけ、鋼板及び施工技術の開発を行うには、適切な連続打点性評価法の確立が必要であることを痛感させられる。

また、連続打点性は、鋼板最表面の影響を大きく受けることが電極先端合金成分の詳細な分析によって明らか

にされており¹¹⁾、今後の良溶接性防錆鋼板開発のヒントを与えていると言える。

V. 軽量化

地球環境の保護に対し自動車排気ガスの清浄化は大きな課題である。化石燃料からよりクリーンな電気等への変更も試みられているが、現実的には燃料使用量の減少すなわち燃費向上が重要な手段である。この為米国 CAFE 規制 (メーカー別平均燃費) も更に強化されつつあり、省燃費に有効な車両の軽量化が特に注目されている。

軽量化を考える場合、構造の合理化が第一であるが最近ではボデー剛性の章で述べたごとく FEM 有限要素解析等により限界設計がなされており、これ以上の大巾な重量軽減は望めず、軽量材料の採用に比重がかかっている。軽量材料のうちボデーでは、①高張力鋼板、②樹脂、③アルミ等が検討されている。以下にこれらの軽量材料とその溶接性について概略を示す。

まず高張力鋼板については、板厚を下げてでも強度が落ちない点から座屈荷重や破壊荷重のかかる部位、アンダーボデーのメンバ類、バンパーリインフォースメント、インパクトビームへの採用、ボデー外板の耐デント性向上を目的とした採用が進められ、最近では 100 kg 級鋼板の採用も検討されている。しかし、溶接部の継手疲労強度は高張力鋼板を採用しても上昇しない為、使用部位には注意が必要であり大巾な採用には至っていない。

次に樹脂について述べる¹²⁾。ボデー外板へは、GM フィエロが全外板に採用して以来種々の車に採用されているが、最近では BMW・Z-1 が外板とバンパーシステム、フロアパネル、フュエルタンクを樹脂化し 200 kg の軽量化を達成した報告もある。また GM-APV は樹脂外板をボルトでなく接着でボデーに取り付けており、樹脂を採用する上で、全く物性の異なる樹脂と金属の結合技術の開発、主に構造接着の長期信頼性の確立が要望されている。以上の様に期待の大きい樹脂もそのリサイクル性が懸念されており選別回収等の工夫がなされはじめたが、今後の大量使用にあたっては画期的な再利用技術の開発が焦点となろう。

アルミについては近年ボデーへの採用が急速に拡大している。フード、フェンダー、バンパーリインフォースメント、サブフレームに採用した車は既に多いが、ホンダ NSX は市販車として世界で初めてオールアルミボデーを採用した車として注目される。しかし車両剛性を考えて見るとアルミは鉄に比べヤング率が約 1/3 と低く、通常の構造では同一剛性を得る為には板厚の増加、断面係数の増大が必要でありメリットが少ないとも言わ

れ、その特性を活した構造設計の工夫等研究が待たれる。溶接技術面では従来のスポット溶接、アーク溶接の適用が可能で、最近の研究ではスポット溶接の連続打点性は通常言われる100点より大巾に長くできるが、継手強度のバラツキ等の課題も指摘されており自動車の大量生産に適した素材の研究開発が強く望まれる。

VI. 自動化

日本では、今後の労働人口の高齢化、労働時間の短縮化の一方、自動車生産量の増加、高級指向、価値観の多様化による作業量の増加から図12¹³⁾に示すように2000年には約1.7倍の作業が必要となると予測され、自動化が急務になっている。

図13¹³⁾に現状の自動車生産工程における代表的な自動化率を示す。ロボットを駆使した溶接が組み立て手段であるボデー組立工程は自動化率が高く、部品のセット・ねじ締め・検査が大半を占める車両組立工程の自動化率が低い。この理由は車両組立作業では、現在のロボットで直ちに人に置き換えることが難しい為で、それ故より高い機能を持ったロボットの開発が望まれている。

図14¹³⁾にどのような機能が追加された時、車両組立工

図12 雇用需要の拡大

(注) A部門：基準時間が設定された現場

図13 工程別自動化率と作業人員

程での自動化率の増加ができるかの予測値を示すが、これらの数字も高々50%でありロボット側だけからの解決の限界を示している。逆に言えば、より組み立てやすい構造への変更、自動化に適した結合技術の開発が必要であると言える。

このうち近年大きな注目を集めているものが、モジュール設計・生産である¹⁴⁾。図15にボルボLCP2000の例を示すが、代表的なモジュールとしてはドア、インパネ、フロントエンド等があり、ヨーロッパではサブ、プジョー、フィアット、オペル、VWでも採用されている。米国、日本では採用の例は少ないが、今後の自動化率の高まりの中で実施される方向にあらう。モジュール化に当っては、車両全体の構造・材料の見直し、車両へ

図14 知能ロボットによる自動化増進効果

図15 Volvo LCP2000 (ボルボ広報資料)

の搭載方法、接合技術の開発、重量増加への対応など、課題も多く今後の研究が待たれる。

VII. あとがき

自動車の構造と接合技術について、最近の動向を主として商品力向上の面から概括したが、今後の課題を考えると、材料の複合化、すなわち車両の必要な部位に必要な機能を付与する技術開発が必要である。

これには各種材料、鉄・アルミ・マグネ等の金属にかぎらず、樹脂、セラミックなどあらゆる材料を使いこなし複合化することが求められており、この複合化のキーテクノロジーが接合技術と言える。

それ故接合技術も従来の溶融溶接からロー付、固相接合、接着、勘合までのあらゆる技術を駆使する必要がある、我々接合技術者に大きな期待がかかっていると言え

る。

参 考 文 献

- 1) 近藤；溶接学会論文集，Vol. 9 No. 1, 189, (1991)
- 2) 新編自動車工学便覧＜第 6 編＞車体，1-1
- 3) 白井；技術の友，Vol. 40 No. 3, 35, (1988)
- 4) 荻原他；自動車技術，Vol. 42 No. 12, 1535, (1988)
- 5) 石川；科学と工業，Vol. 63, 5
- 6) 近藤他；抵抗溶接研究討論会資料，RWS-80-86
- 7) 兼子他；トヨタ技術，Vol. 39 No. 2, 135 (1988)
- 8) 山本；軽構造接合加工研究委資料，MP-31-89
- 9) 斉藤他；溶接技術，Vol. 31 No. 4, 27, (1983)
- 10) P. HOWE and S. C. KELLEY, Welding Journal, December, 1988, 271-S
- 11) 野村他；溶接学会講演概要，Vol. 46, 206 (1990)
- 12) 川村；自動車技術，Vol. 44 No. 7, 51, (1990)
- 13) 加藤；技術の友，Vol. 42 No. 1, 43, (1990)
- 14) 千葉；自動車技術，Vol. 44 No. 1, 47, (1990)

11W 20ヶ国溶接用語集出版のご案内

書 名：Multilingual Collection of Terms for Welding and Allied Processes

—Part 1: GENERAL TERMS—

体裁及び内容：16.5×23.5cm, 510 ページ, 868 語 20 ヶ国語，英仏語による 482 語の定義，320 図解，収録言語は，チェコ，デンマーク，オランダ，英，フィンランド，仏，独，ハンガリー，伊，マケドニア，ノルウェー，ポーランド，ポルトガル，ルーマニア，ロシア，セルボクロアチア，スロバキア，スロベニア，西，スウェーデン

内容は，General terms for welding and allied techniques, forms of welded joints and types of welded assemblies—Weld preparation, joint preparation—Types of welds—Characteristics for calculations for welds—Welding operation—Welding work—Welding techniques—Welding processes—Welding facilities—Industrial safety—Thermal and physical effects—distortion—Fatigue and fracture mechanics—Defects—Quality control.

価 格：10,000 円 (送料込)

次のパートについても下記宛お申し込み下さい。

Part 2: Gas Welding, 1982 年

Part 4: Resistance Welding, 1961

Part 5: Thermal Cutting, 1968

Part 6: Thermal Spraying, 1968

Part 7: Brazing Soldering and Braze Welding, 1971

Part 9: Gas Welding, 1982 年

申し込み先：〒101 東京都千代田区神田佐久間町 1-11

日本溶接会議 (ファックス：03-3253-3059)

送金方法：現金，小切手は，上記申し込み先へ。銀行振込は第一勧業銀行神田駅前支店 普通預金口座 No. 1237598 へお願いします。