

特別講演

UDC 669.14.018.292-415 : 629.113.011.5 : 621.97 : 539.52

自動車車体用薄鋼板とその成形技術の動向*

吉 田 清 太**

Some Recent Trends in Steel Sheets and Forming Techniques of Autobody

Kiyota YOSHIDA

ま え が き

わが国の自動車産業にとって、1950年、1960年ならびに1970年はそれぞれ重要な意義をもった年である。すなわち、表1に示すごとく、1950年は占領軍による自動車の生産制限が全面的に撤廃され、欧州車のスタイルと構造を教本に、独自の自動車の開発力を蓄積し始めている。

1950年代のこれらの努力は、スタイルと機能に国際性をもたせ、アメリカの製造技術を取り入れた本格的な量産体制を1960年に発足させている。

この間、国内の産業活動の全般的な活発化と、所得水準の上昇による国内自動車市場の拡大を背景に、自動車産業は今日わが国における基幹産業のひとつとしての地位を確立するに至った。たとえば、1955年には総生産台数が約10万台にすぎなかつた四輪車は、1962年には100万台に、1970年には500万台となり、15年間で50倍と急成長を遂げている。また1960年代に輸出の開始と拡大が軌道にのり、1970年代の輸出車台数は著しく増加し(図1)1976年は371万台に達した。

1970年は、わが国、欧州ならびに米国におけるモータリゼーションで生じた幾つかの社会的問題が、国際的共通の場に提示され始めた年である。すなわち、安全車問題を口火として、衝突安全規制、排気ガス規制さらに、燃料節約への要望の高まり、などが自動車への社会的要請として強く表面化した。

1980年は、自動車産業にとって、どのように記録される年になるであろうか?

1970年代のわが国の自動車産業は、世界でもつともきびしい排気ガス規制を達成しながら、わが国の基幹産業のひとつとしての役割を果たすと同時に、輸出商品としての国際競争力を確保するための努力が、精力的に絶間な

表 1 自動車と鉄鋼の変遷

年代	自 動 車	鉄 鋼
1950	自動車生産制限の全面撤廃 { オースチン, ルノー, ルーツなどの欧州車 } と国内社の提携と自己開発進む	リバーズミルによる広幅材 高級仕上げ鋼板 アルミキルド鋼板の国産化, 本格的連続圧延作業の開始
1960	単一車種専門工場の出現 量産体制の拡張, 整備始まる	オープンコイル焼鈍材 遅時効性鋼板 低降伏点リムド鋼板
1970	衝突安全車問題 排気ガス規制強化 燃費向上対策 防食対策 排気ガス規制対策の一応の完成, 車体の軽量化, 耐食性向上の展開	Ti キルド超深絞り 鋼板 鋳造, 圧延, 焼鈍などの連続化の拡大, 整備 低降伏点, 焼付時硬性, 高強度鋼板 耐食性冷延鋼板 各種表面処理鋼板
1980	?	?

く続けられ、現在、それらから幾つかの具体的成果がえられている。そして、1980年はそれら諸成果が大きくみのる年ではあるまいか。

1950年 以来の、このような自動車産業の発展に当つて、車体材料の主力材料である薄鋼板の生産体制が例えば表1のごとく追隨して直接的な寄与を果してきた。それは、板厚、板幅の選択の自由性と多量でかつ安価な安定供給であり、材料特性の向上である。

1970年代の自動車と鉄鋼のおのおのの場における生産性ならびに製品品質向上への努力と協調の成果を1980年からみよらせるために、両者の相互理解と共同作業が格段と強化されねばならない状況下にある。すなわち、排

* 昭和 51 年 10 月 2 日, 本会講演大会における浅田賞受賞特別講演

** 理化学研究所 工博 (The Institute of Physical and Chemical Research, 2-1 Hirosawa Wako-Saitama 351)

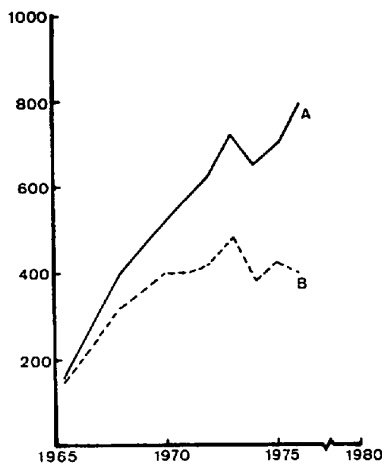


図1 わが国の四輪乗用車の総生産台数と輸出台数の変遷
A; 総生産台数, B; 国内登録台数, A-B; 輸出台数

気ガス対策技術の先駆的開発と、中小型車体の製造技術の水準の高さの国際的認識の高まり、さらに、車体材料の特性とその生産形態にみられる先駆的開発状態などが揃っている現状にある。1980年が歴史的にどのように記録されるかは、これらのわが国の自動車技術と材料の結合状態や総合化に依存する。

1950年頃から、自動車車体の生産と車体用材料の境界領域の一隅に位置しているものとして、主として四輪乗用車の車体と薄鋼板の最近の動向を筆者の希望も混じえて概説する。

1. 車体とその材料への社会的要請の反映

わが国の経済活動と生活環境に自動車に密着するほどその存在と機能に多様な社会的要請が生ずるのは自然であろう。自動車産業はそれら諸要請を着実な歩みで消化しつづけているが、車体への諸要請の反映はつぎのごとく要約できる。

a) 安全車問題；衝突安全という面から、車体構造での衝突エネルギーの吸収と車室空間の確保が必要となり、車体の構成とその材料は強靱化される。

b) 排気ガス規制；排気浄化系材料の高温強度と耐食性とその材料（現在ではステンレス系）の成形技術の開発があるが、車体への反映としては、ふたつの事柄がある。ひとつは浄化系装置が数 kg 以上あるので、その重量増を車体重量の軽減で補ないたい。いまひとつは浄化に伴う燃費の悪化を補なう意味でも車体重量の積極的軽減を進めたい、ということである。すなわち、排気規制は車体の軽量化を期待する結果にもなる。

c) 燃費向上対策；1973年におけるオイルショックが、燃費向上の努力を一段と強く要望する動機となった。大型車が全生産台数の半数近くを占める米国では、大型車の寸法的縮小（スケールダウン）で全体平均とし

ての軽量化は容易である。しかし、米国においても、1980年には20マイル/ガロン（≒7km/l）以下の車の製造が許されない状況下でもあり、エンジン容量の小容化とともに、車体の寸法縮小と軽量化は焦眉の問題であり、1977年車にはすでにこのことが組み込まれ、1980年の体制作りが始まっている。中小型中心のわが国では、車体重量の軽量化が、他の駆動系の効率化とともに強い要望になっている。

d) 車体の長寿命化；エンジン寿命にくらべて車体の寿命が短いというのが一般的認識であろう。この車体寿命は、発錆や腐食による寿命で、車体の防錆対策が、防錆処理技術の向上とともに材料にも耐食性が要望されることになる。

e) 騒音、振動問題；騒音源はエンジンやタイヤが主体であるが、走行中に車体が渦流や乱流をなるべく生ぜしめないような車体の外形形状への配慮も必要である。振動は大型トラックの場合、将来大きな問題になる項目であるが、乗用車については差迫つた問題ではない。

以上の社会的要請と車体の関係を要約すると、

- a) 車体の軽量強靱化
- b) 車体の耐食性向上

となる。

2. 車体の軽量強靱化と材料

車体の基本的構成は、大型車に多く採用されているアッパーボデー、ローボデーならびにフレームからなる形式と中小型車に多いローボデーとフレームを一体とした図2のごとき形式がある。

この車体重量は、自動車総重量（車輛重量）の40～50%である。車輛重量を W とした場合、燃費 a (km/l)は

$$a = (1/b_e)(1/L)(V \cdot \gamma) \times 10^3 \left\{ \frac{1}{3.6 \times 75} \cdot \frac{V}{\eta_t} \left[\left\{ \mu_r + \frac{2(1+\varphi)}{g} + s \right\} W \right] + C_d \cdot A \cdot V^2 \right\}^*$$

で近似させうる。ここで

- b_e ；エンジン燃費率
- η_t ；動力伝達効率
- φ ；廻転部分相当重量比
- μ_r ；転り抵抗係数
- A ；正面面積
- L ；所要馬力
- W ；車輛重量
- S ；道路勾配
- C_d ；空気抵抗係数

V ；対空速度， γ ；燃料の比重， g ；重力加速度である。車輛重量 W は車内艙装や車体強度増などのため年ごとに増している。米国の大型車を例にとれば、1970～1975の間に約200 kg 重くなっている。わが国の中小

* トヨタ自動車提供

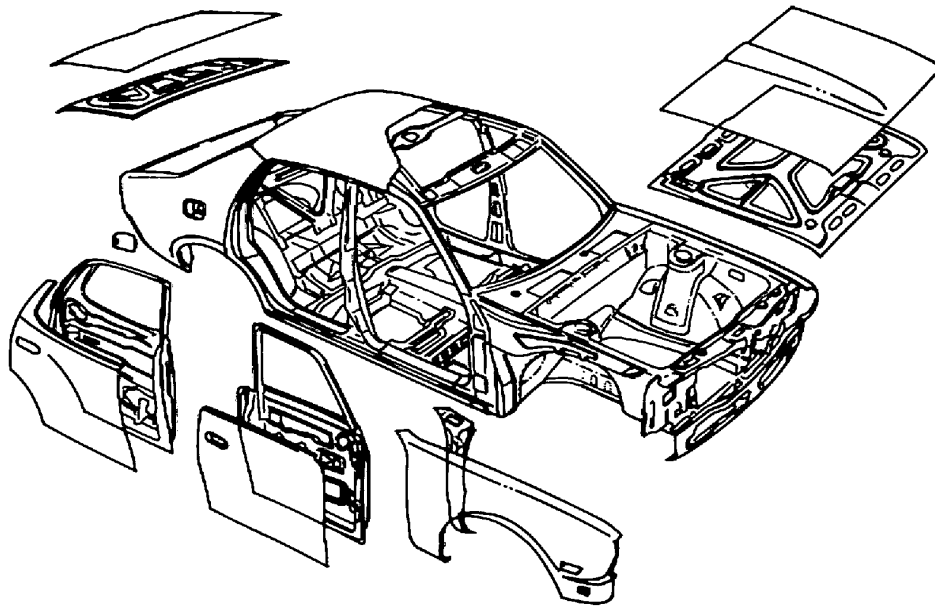


図2 フレームレス(モノコック)ポデーの例(日産提供)

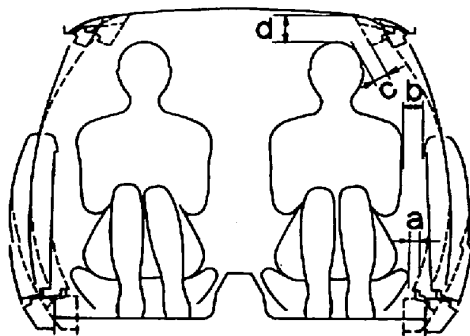


図3 断面外形形状の変化による重量軽減の例(トヨタ提供)

型車でも排気浄化系を含めると平均数十 kg は重くなっている。これら重量増は式中の W に効いてきて燃費 a を小さくしている。車体の重量軽減量 Δw は、フレームや走行系の軽量化をも誘起するので、車輛重量 W への軽減量 Δw の寄与量 X は

$$X = (1.5 \sim 2) \Delta w$$

であるといわれる。

この重量軽減は車体構造と、車体の材料の両面から検討されている。たとえば図3のごとき車体断面の変更もひとつの例で、小型車について天井とフロアの幅をそれぞれ 400 mm 狭くすれば

$$\{\text{パネル} 1.1 \text{ kg}\} + \{\text{内張り} 0.47 \text{ kg}\} = 1.57 \text{ kg}$$

となり、車輛重量へは 2~3 kg の実効量として生かしよう*。また、現用材質のまま板厚を減らす方向がある。この板厚は車体の構成部材ごとに、つぎの諸事項を満足するよう定められる。すなわち、

- i) 車体の剛性と強度
- ii) プレス成形性

表2 わが国乗用車車体板厚構成比(重量%)

車格 \ 板厚mm	0.7	0.8	0.9~1.0	1.2~2.0
軽, 超小型	45	40	10	5
小型	25	50	20	5
中型	10	30	50	10

iii) 腐食代

などである。現在のわが国の乗用車の車体は表2のごとき板厚で構成されている。これらの板厚のうち、パネル部材に用いられている 0.7 mm や 0.8 mm の板厚材をさらに薄くする場合、成形性の面で困難を伴いがちである。その困難を除くひとつの方法として、降伏強さ (σ_Y)、あるいは引張強さ (σ_b) を板厚の減少に逆比例して大きくする必要がある。その大きさは、筆者の経験によれば

$$(\sigma_Y)_1(t_1/t_2) > (\sigma_Y)_2 > (\sigma_Y)_1(t_1/t_2)^{1/2},$$

あるいは、

$$(\sigma_b)_1(t_1/t_2) > (\sigma_b)_2 > (\sigma_b)_1(t_1/t_2)^{1/2}$$

が適当である。添字 1 は現用材、2 は変更予定材を意味する。

さらに材料的に車体の軽量強靱化を図るには

$$\left. \begin{array}{l} \text{強度: 比重} \\ \text{弾性係数: 比重} \end{array} \right\}$$

がより大きい材料が、安価にそして安定して供給されることが望まれる。

(強度/比重) = 比強度の観点から、現在の鋼板に変わるものとして、しばしばプラスチックやアルミが論議の対象になる。プラスチックは比強度の点ではすぐれているが他の条件は鋼板にくらべて及ばないが、醸装関係や装飾ならびにバンパーの材料としての地位は続くだろう。

アルミは、比重が鋼材の約 1/3 で、成形後の熱処理で

* トヨタ提供

大幅な強度増が可能なので、車体の軽量化用材料として非常に魅力をもっている。したがって、各国ならびに各自動車会社で実用化検討が進められている。適用予定部材は、たとえば、バンパー補強部材、ドア、トランクやフード系などである。これらの部材のアルミ化が進んでいない主な理由のひとつに高価格がある。

鋼板については、耐食性と、高強度鋼板の成形性などがどのように解決されるかが問題である。最近におけるZnメッキ鋼板ならびに各種の耐食性皮膜をもつ鋼板、また成形性の著しい低下を防げる複合組織強化型の高強度鋼板や焼付時硬性鋼板*の出現などは、将来とも依然として車体の主力材料の位置を鋼板が占め続ける条件である。

高強度鋼板の車体への適用は、車体の破損強度や衝突エネルギーの吸収などに、板厚 t と強度 σ （降伏強度 σ_Y あるいは引張強さ σ_b ）の積関係が成立し、それによる板厚減少での、軽量化と強靱性の確保である。たとえば単純な圧縮や引張りに対して

$$t_1/t_2 = (\sigma_b)_2/(\sigma_b)_1 = (\sigma_Y)_2/(\sigma_Y)_1$$

で、単純曲げでは

$$t_1/t_2 = \{(\sigma_b)_2/(\sigma_b)_1\}^{1/2} = \{(\sigma_Y)_2/(\sigma_Y)_1\}^{1/2}$$

となり、車体の各部材からうける荷重条件はこの両者かその中間に存在することが多い。ここに添字1ならびに2は、現用材と変更予定材をそれぞれ表わす。

また部材の飛石などによる塑性的な局部くぼみ抵抗(Dent resistance)は近似的に

$$\{(\sigma_Y)_1^2 t_1^3 / s_1\} = \{(\sigma_Y)_2^2 t_2^3 / s_2\}$$

が成立することも、高強度鋼板利用の効果として認識されている。 s_1 、 s_2 はパネルの張り剛性である。

車体の軽量、強靱化を満す材料として高強度材による車体構材が、現在のところもつとも経済的方向であろう。高強度部材の製作には

1. 高強度鋼板の利用
2. 時硬性鋼板の利用

がある。前者に関連した解説は最近非常に多いので省略する。後者も新しい認識ではないが、最近、複合組織強化型の高強度鋼板に焼付時硬性が認められ、再認識されている。すなわち、車体の塗装工程における焼成温度(200°C前後)とその保持時間(20分前後)を利用して、C析出による時硬を利用するもので、車体成形の面からは、成形後強化が行なえる点で好ましい材料として期待されている。

軽量強靱化は、車体のスタイル、車体構造、内外装品の見直しなど多角的な部門で実行が進められており、今後のわが国の新型車では少なくとも1割程度の軽量化が予定されている。

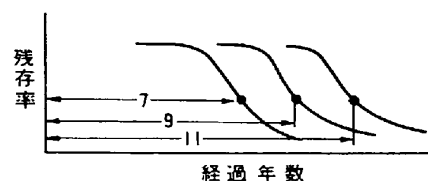


図4 廃車の経時変化

3. 車体の耐食性向上

車体の寿命は、主としてベルトラインより下方の腐食で定まる。この腐食には外観上の問題とともに、車体機能部の腐食がある。

生産台数と使用台数の経年的変化は、たとえば図4に示すごとくで、使用台数が生産台数の50%になった年数を半減期という。この図中には、わが国(7年)、欧州(11年)ならびに米国(9年)での過去数年の平均の半減期を記入している。わが国の車検制度、自動車普及率の急上昇、道路舗装率の低さもさることながら、高温多湿性の気候条件が、わが国での半減期が欧米のそれにくらべて早いことと無関係ではないだろう。

欧米の降雪地帯の腐食環境として、雪道に散布される岩塩と砂の被害があり、その点ではわが国の腐食環境と異なる。しかし、輸出車台数が増すにつれ、わが国でも塩害と砂の混合対策は重要な車体技術となっている。

車体の製造工程において、組立後、車体は脱脂、洗浄、化成皮膜処理、ED下地処理などのいわゆる防錆処理工程がある。それらの処理は一体ボデーの状態で行なわれるので、処理液の浸入、排出の障害になる場所に、耐食性不良が生じやすい。これらの工程で、ED塗装の普及と技術改善はわが国の特徴ともいえる。すなわち、1960年から始まったわが国の本格的量産体制の整備期にED法が従来の浸漬法に代つて出現したため、わが国の下地塗装はED法が100%普及している。これに対し、既存設備を多くかかえている欧米の普及はわが国より少なく、たとえば米国でも50%に達していない。また、欧米ではED法の改善として補助電極が検討されているが、わが国では塗料の改善も含め、すでに補助電極を使わない状態に進んでいる。さらに、現在のアニオン型の電着塗料では下地皮膜の磷酸亜鉛やその下地鉄分の溶出が伴うので、これを防止し、防食性の向上を図るために電着塗料の電荷をプラス化したカチオン型塗料の実用化が急がれている。

一方、塩害腐食対策と耐食性向上のために車体用鋼板として、

- a. 普通鋼板のみ、
- b. 耐食性表面処理鋼板の併用
- c. 耐食性合金鋼板の併用

のいずれを基調にするかも重要な検討課題である。

aを基調にする場合、防錆下地処理液の浸入と排出の完全さを組み込んだ車体構造が必要であるが、軽量、強

* 常温ではほとんど時効がなく、自動車の車体塗料焼付温度では容易に時効硬化するので焼付時硬性と呼ばれる。

靱化のための骨格構造では閉断面メンバーが好まれることもあつて、車体構造の面からのみでは解決がむずかしい。閉断面メンバーや、塩害をうけやすい部材にはbの対策が実用的で、現在行なわれている対策の主流である。対策材として、片面ならびに両面の電気ならびに溶融 Zn メッキ鋼板、ジクロメタルのごとき塗装鋼板などがある。この場合の問題として、点溶接部の強度や溶接ガン(チップ)の消耗がある。片面処理鋼板は、対象部材を外板関係にも広げうるもので、ここ数年間の腐食対策材の主流になるように思われる。

cは耐海水あるいは耐候性などの鋼材開発経験をもとに車体用耐食材が開発された場合の考え方で、フローヤイいわゆる足廻り材として大きな期待がかけられている。

耐食対策技術や材料の開発に当つて、基盤になる車体の腐食の実態は、腐食環境依存性が極めて大きいため、腐食現象とその機構ならびにその程度などが十分に整理されていないことが障害になつている。これらについての自動車と鉄鋼の共同作業が望まれ、その成果にたつて腐食促進試験法の開発が必要である。

4. 耐食性高強度鋼板

鋼板による軽量強靱化は、より薄手の高強度鋼板の利用であり、この薄手化は一層の向上が望まれている耐孔食性の観点からは好ましくない。この反する二面性の解決のため、耐食性高強度鋼板への期待がある。そのため、

A Zn メッキ高強度鋼板

B 耐食性高強度鋼板

などが考えられよう。なかでも、耐食性高強度鋼板への期待は大きい。

耐食性高強度鋼板としては、すでにステンレス鋼板を始め、各種の耐海水鋼や耐候性鋼が市場に存在する。すなわち、耐食性に対する添加元素として、

1. 顕著な効果元素; P, Cu, Cr
2. 補助的効果元素; Ni, Mo, V, Nb, Ti
3. ほぼ無関係元素; C, Si, Mn, S

などの認識を基盤にした常識的成分系である、

A. 含 Cu 系

B. 高 Cr 系

C. 低 Cr 系

などの諸鋼材の検討が進められよう。延性に富み、スポット溶接性にすぐれ、化成処理に対する難点(化成皮膜結晶の生成に対する障害で写真1参照)が除かれ、かつ焼付時硬性も持つ耐食性高強度鋼板ができれば、それは将来の車体材料としての理想像であろう。

5. 車体メンバー類の成形

車体の構成部材を大別すると、外板のごときパネルとフレームのごときメンバーにわけられる。前者は主とし

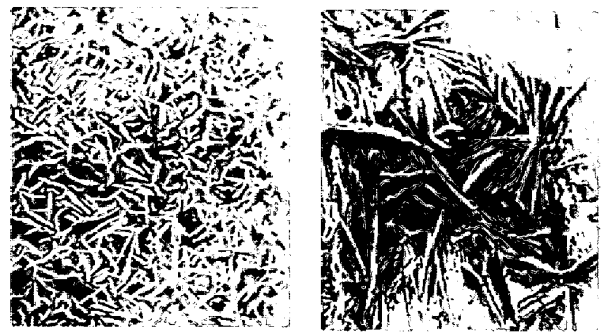


写真1 燐酸亜鉛皮膜の結晶模様(左側良、右側不良)。(新日鉄提供)

て絞りや張出し成形で、後者は曲げが主となる。

曲げに当つては、いわゆるスプリングバックが問題になる。スプリングバックは弾性的戻り特性によるものであり、単純な引張りや圧縮における弾性的戻りのひずみ量 λ_e は

$$\lambda_e = \sigma / E$$

であるから、高強度鋼板になると $E = \text{Conet}$ である限り λ_e は σ に正比例して大きくなる。アルミニウムの場合は E が鋼材のそれの約 $1/3$ である。スプリングバックは曲げによる板厚面内の不均一応力分布に基づくもので、この応力分布を均一にするか板厚中心に対して面对称にすればほぼ除去できる。このような技術操作が行なわれた場合のスプリングバック量は材料の強度や E の水準に無関係である。その技術操作には、たとえば図5に示すごとき曲げの前後での張力附加の方法もある。

しかしこの張力附加は薄手材やハット断面部材のときは可能であるが、フランジがない部材では材料損失と形状的な面の別の欠陥も生じて実用的でない。したがって単純な形状であれば、過去の資料も併せスプリングバック量の予測ができるが、複雑な形状になると試行実験に頼らざるを得ない現状である。

複雑な形状のメンバー類では、局所的な伸びフランジ変形を伴いがちである。その変形限には延性の劣化は致命的となる。そのため形状的な考慮とともに、mechani-

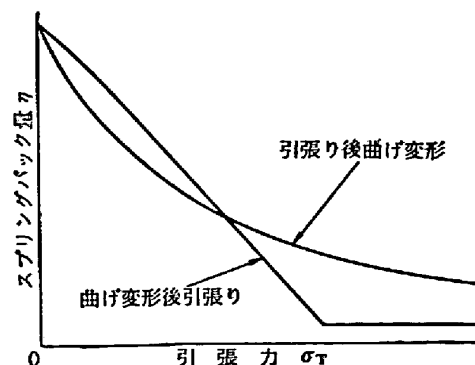


図5 曲げによるスプリングバック量と付加的張力の関係

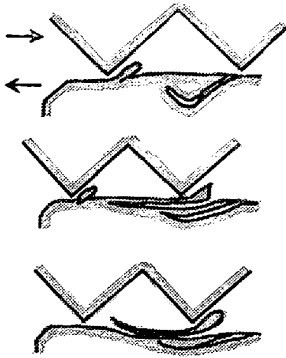


図 6 摺動面における準微視的の表面変形の例（はくり、金属片の発生）



図 7 摺動面における表面損傷の機構の例

cal fiber や介在物の敏感な影響をうけないように、素板形状や変形径路を定めねばならない。

いまひとつは、メンバーならびにブラケット類も含めて特に問題になりがちなのは、板ならびに型の“かじり”である。図 6 に示すごとき機構で表面凹凸の巨大変形や剝離が伴い、また図 7 のように鋼板表面の亀裂発生などの機構で“かじり”焼付の現象が生ずる。型材あるいは型表面と鋼板の親和性、それらの表面粗度や形状、潤滑の検討など、解決すべき問題が多い。

また、高強度になるほど一般的には疲労限界が気になるので曲げ限界は、曲げ部の表層クラックの目視判定だけでなく、その部分の静的ならびに疲労的な強度の異状低下による設定も重要である。

6. 車体パネルの成形

自動車の車体パネルは、板厚の大きさにくらべると非常に広い曲面をもつことが特徴である。たとえば、円筒面に近似させても、曲率半径 ρ は 2000 mm にも及ぶ。板厚 0.8 mm の板を 2000 mm の曲率で曲げたときの表層のひずみ量 λ は

$$\lambda = 0.8 / 2 \times \rho = 0.0002$$

で弾性域を脱しない。それでパネル成形では、成形開始前、成形行程中あるいは成形後に附加張力を板に加え、たとえば図 5 のごとき塑性的に形状凍結を行なわねばならない。そのためパネル類の成形はいわゆる絞りや張出しの成形となる。そのような成形を行なう一般的な考え方と型構造の例を図 8 に示した。

図 8 (a) に示す A, B, C, D で結んだごとき縦断面形状のパネルを成形する場合、矢印の (1) 方向にプレスすると実線 A-B 部分は死角となるので、(1) に対して θ だけ傾けた矢印 (2) の方向にプレスすることに

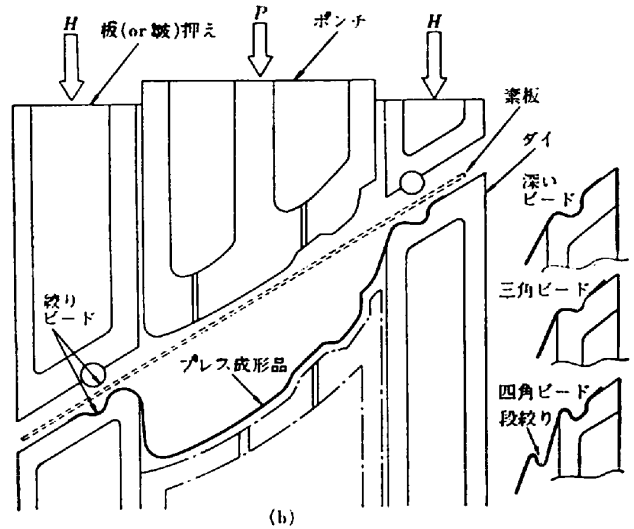
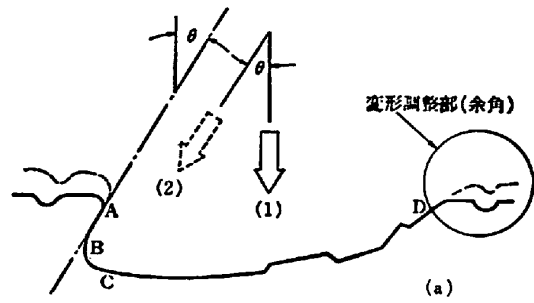


図 8 パネル成形法と型の例

なる。この θ をより大きめの方向にするか否かは曲面の形状、例えば図上でみる左右対称性の程度で定まるが、 θ を大きくするほど (b) に示す成形型の高さが増し、不経済になる。

この (b) は、基本的な型構造の例である（実際の型は自動操作装置も組込まれる）。(a) に示す A, B, C, D 以外の部分は、変形制御や立体的形状のバランスをとるための部分である。すなわち、ダイス面上に素板が安定に位置づけられ、皺抑え力 H による摩擦力を加えたり、摩擦力のみでは不十分で部分的変形や力の制御が必要な場合に絞りビードや段絞りなどを組込む部分である。

このような型で、フロントフェンダーを成形した場合の例が図 9 で、普通数工程で完了する。図 8 の型は、この工程の中の第一工程目の絞り用型である。写真 2 は、成形中ヘッドランプ付近に発生し、消滅する皺の状況をみた写真である。このような皺はフェンダーの中央部にも生じるが成形の進行につれて吸収、消滅させる。一般にパネル類は、周辺部は強い変形を受けるが、曲面部の変形量は一般に小さい。そのため弾性変形量の不均一や方向の違いなどにより、部分的ならびに全体的“たるみ”や“ひけ”ならびに“よじれ”などが生ずる。基本的には次の三つの場所に生じやすい。

- (1) 変形量が小さく、かつ不均一な部分
- (2) 小さい変形量の広い部分に局部的に強変形部が

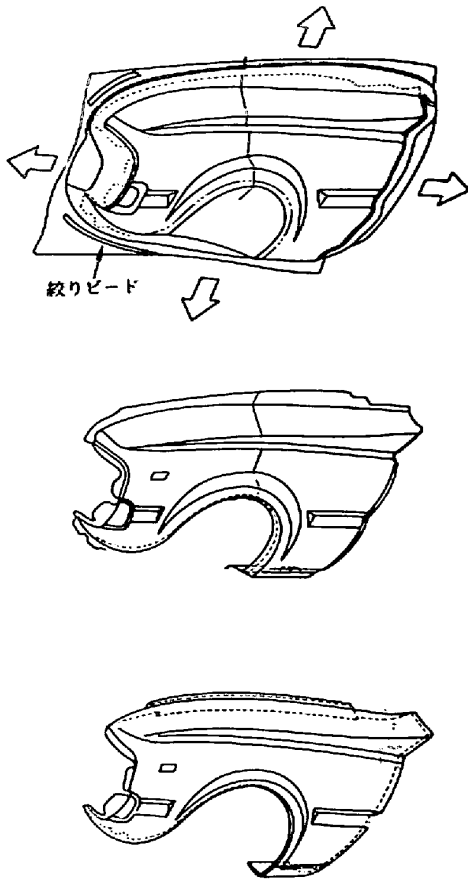


図9 フロントフェンダーの成形工程例(6工程のうち1, 3, 5工程)

ある場合

- (3) 弱い変形部と幾何学的に剛なる部分の境界は、成形後の弾性変形の不均一と方向の違いのために曲面が壊れる

このような形状欠陥を除く形状凍結性技術が、高強度



写真2 フロントフェンダーのランプ周りのしわの発生と消去の過程

薄手鋼板の成形では、破断問題以上に重要になる。破断に対する材料的あるいは成形形状や成形条件からの解析は、すでに実用的にまで普及した諸概念や手法がある。表面欠陥については、材料的にも成形技術的にも解析が遅れている。それで Stretcher strain から腰折れ、ショックライン、線ずれなどを含め、ベコやタルミならびにしわの発生と消去などの制御のためには板面内のひずみや応力の伝播挙動、分布状態と水準などが、それら諸現象と対応づけられる必要がある。たとえば図10

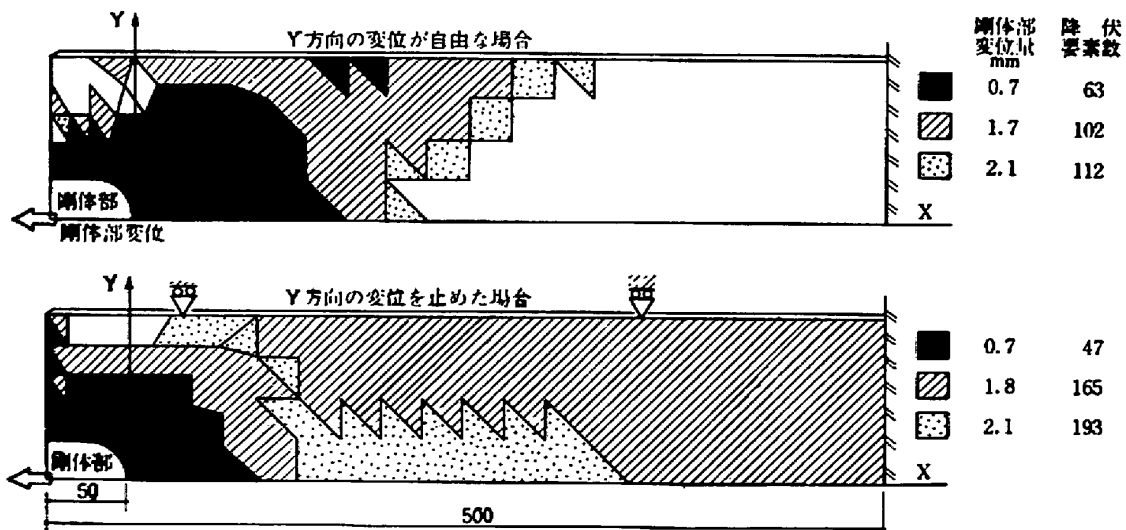


図10 幅方向(Y方向)の変位の拘束の有無によるひずみ伝播の違いの例

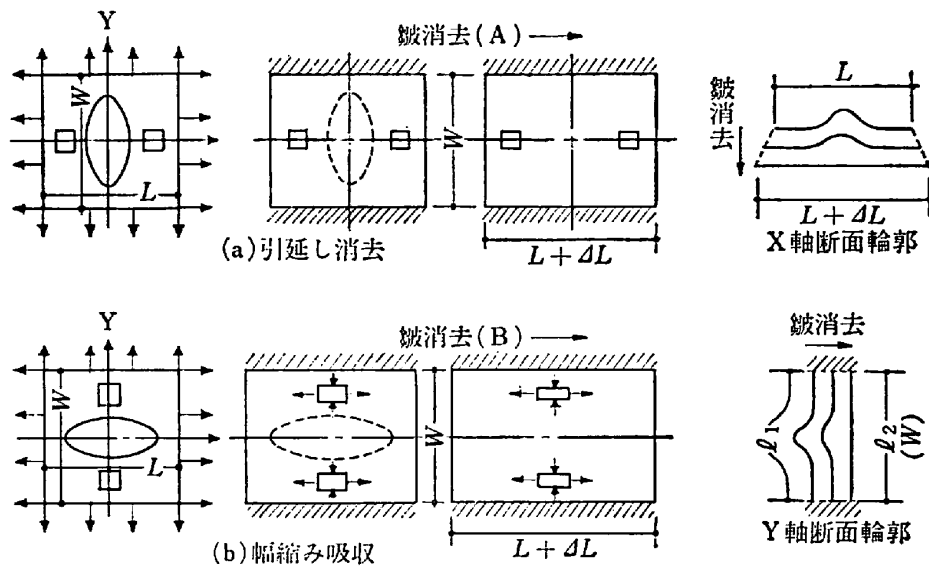


図 11 しわ消去法の例

に示すごとく、Y方向の変位拘束の有無によるひずみの伝播状態の違いの認識や、それらの状態の定量化などの基礎的研究と調査が蓄積されねばならない。これらを支配し、かつ破断しにくい材料特性、例えば数%のひずみ領域における硬化指数 $(d\sigma/\sigma)/(d\epsilon/\epsilon)$ や硬化係数 $(d\sigma/d\epsilon)$ などの探索とともに、現行技術の高強度鋼板成形への適応を助けねばならない。

また、しわそのものの発生と消去の制御はペコ、タルミなどの制御ともからみ合うので、できるだけ“しわ”は発生しない方が、発生と消去を経ての場合よりも、そのからみ合いも単純であろう。“しわ”の発生を減らすため、図8に示す、絞り方向の加減、素板の平面形状や絞りビードの調整などで板面内の圧縮応力や剪断応力の軽減を図る。しかし、完全に発生を防止して、形状凍結を完成させることは極めて困難である。むしろ、成形行程のある時期には“しわ”が生じて、それをその後の行程で消去させた方が技術的には楽であり、また形状凍結の観点からもあとで引張るということが好ましい場合も多い。

“しわ”を消すには、図11に模式的に示すような基本的手法を用いる。(a)は最も普通で効果的な手法である。(b)はX方向に引張ることによって生ずるY方向の縮みで、“しわ”となつている肉余りを吸収する方法である。後者の場合、材料の r 値が大きいことはY方向の縮みが大きい特性であることから、“しわ”の消去特性として直接的かつ効果的である。自動車車体材料の r 値は、破断を中心とする体系の中では破断回避特性として重要であるが、車体成形における役割は“しわ”の消去特性として極めて重要視されねばならない。

7. 薄板特性と成形技術の相補性の研究

この相補性の研究と努力は、過去20年から現在まで、

精力的に続けられている。高強度鋼板の車体への応用に当つて解決すべき問題は、プレス成形から最終的な自動車の利用、環境依存性までの全過程を対称に表面、バルクの材料特性を総合的に評価する努力が、これを機会に発足するだろう。また、そうしなければ、過去の蓄積を飛躍的に効果的にすることができない。そのため

- A 高強度鋼板のいわゆる成形性、ならびに形状凍結性
- B 成形形状と型形状ならびに素板形状の組合せで生ずる材料流れと成形性と形状凍結性の関係
- C 局部的板厚減少を極力少なくする技術と材料特性の関係、この関係は耐食性問題とも関連してくる。

- D 薄手化を図るためには、ある範囲内では、A, Bの項目の解決のためさきにものべたように

$$\sigma_Y \cdot t = \text{Const. or } \sigma_b \cdot t = \text{Const.}$$

が成立することの認識の必要と形状凍結性技術の向上である。 $\sigma \cdot t = \text{Const.}$ とは、たとえば、降伏強さ 20 kg/mm^2 、板厚 0.8 mm の現用材を 0.7 mm に薄手化する場合の降伏強さは

$$20 \text{ kg/mm}^2 \cdot (0.8/0.7) = 23 \text{ kg/mm}^2$$

のごとく予定する（この場合数%以下のひずみ領域の硬化指数が大きいことが望まれる）。

- E 微小ひずみの分布や水準の全体的把握が可能な検出法、たとえば、モアレ法や光弾性皮膜法、X線測定法ならびに抵抗線ひずみゲージの応用などの実用化

などが、今後の研究体制に組み込まれねばならない。

わが国独自の考え方である、変形径路の破断ひずみへの依存性を利用することや、幾何学的形状凍結のため、複雑な応力状態を制御する必要などの、材料的ならびに技術的認識の活用には前にのべた小ひずみ領域での

加工硬化特性にさらにバウシinger効果も調査、研究に組み込まれる必要がある。

また、材料の表面、表層特性の開発に新しいプロセスの導入が積極的に検討されてよいのではと思われる。筆者は、鋼板への非金属ならびに金属の加速イオンを注入し、表面と表層の特性を調べているが、非常に興味ある実験結果を得ている。この事項についてはいずれ別の機会に譲りたい。

む す び

わが国の自動車産業に課せられた厳しい排気浄化規制は、技術的には解決しうる段階に至った。しかし、そのため約 10% にも及ぶ燃費低下は、技術的良心に耐えられないばかりでなく、燃費向上の総合的対策は社会的要請でもある。また、車体の腐食からくる車体寿命の延長も社会的経済状況や資源節約などの動向に附随して生ずる期待である。これらの諸問題を、車輛としての性能を上げながら、わが国の自動車産業は解決への着実な歩みを進めている。

その結果、新しいモデル車の出現は不可避であり、前記の諸問題を現段階で最大限に満した自動車のつぎに、より多くの満足をもつ車の出現を期したい。その時期は 1980 年という年であろうか？

1980 年を将来、どのような歴史的年として記録しう

るかは、車体の軽量強靱化と耐食性についての、材料とプレス以降、下工程に至るすべてにおける技術的努力いかんによつている。自動車車体材料に関係ある鉄鋼の方々のご支援を切にお願いするとともに、小さい立場と力ではあるが、私も精一杯の努力を続けたい。

この文は、浅田賞受賞特別講演の内容の大部分であるが、紙面の都合上、車体のスタイリング、生産準備日程などに関する事項と将来技術としての鋼板へのイオン注入効果に関する部分は、削除せざるを得なかつた。

なお本文をまとめるに際して、トヨタ自動車の加藤剛太郎氏、石垣秀生博士ならびに岩崎誠夫氏、日産自動車の佐藤満氏、古林忠氏ならびに新日鉄の戸来稔雄博士などから資料提供と討論の援助をいただいた。厚くお礼申上げる。

最後に、私事で恐縮ながら、鉄鋼と自動車の多くの方々のご支援のもとに約 30 年間続けてきたささやかな仕事に対して、今回、鉄鋼の周辺における業積として身にあまる賞を頂戴したことは、大変嬉しく、かつ光栄に存じている。

これを機会に、東京高等工芸時代の恩師益田森治先生、東京大学留学以来の恩師、福井伸二先生、五弓勇雄先生ならびに鈴木弘先生を始め、鉄鋼と自動車の関係者の方々に心から厚くお礼申上げる。