

日産自動車(株)

塩川昌男
古林 忠

1. 緒 言

自動車の安全性向上や排出ガス規制による車両重量の増加を、高張力鋼板の利用により対策しようとする考え方は以前からあり、開発が進められてきた。わが国では昭和48年頃、自動車メーカ各社が一斉に高張力鋼板のプレス成形性の実験を行なった。その結果、曲げ加工部品は成形できたものが多かったが、張り出し加工や絞り加工は成形が難かしいことがわかった。そして、自動車部品に採用して軽量化効果の大きく、かつ成形加工の容易なバンパやドアガードバー等の部品に、主としてAPFC50~60の高張力冷延鋼板が採用されてきた。

最近になって、燃費向上を目的とした軽量化の必要性がたかまり、車両全体について、軽くできるところはすべて検討の対象として扱われるようになった。中でも車体重量は車両総重量の約25%を占めており、重要な軽量化の検討対象である。我々は昭和48年当時の高張力鋼板の実験供試材が自動車の大物パネルに適していなかったことを考慮し、車体部品に適する高張力鋼板の特性を明らかにするとともに、車体の要求特性と高張力鋼板の特性との接点を見いだすことを目的としていくつかの実験を行なった。

2. 車体の板厚決定要因

表1に自動車車体の板厚決定要因¹⁾を示す。すなわち、車体の部品は車体構造の要求特性を満すため大別して5つの機能が組み合わせられている。そして

部品(部位)ごとに、いずれか1つ以上の要因により板厚の最小値が決まる。張り剛性、耐デント性(微小永久変形に対する抵抗力)、部材剛性、耐久(疲労)強度および大変形衝撃強度は、それぞれ基礎式に示されるような材料特性値との相関がある。車体部品はそれぞれこれらの要因のいくつかに選択的に制約を受けて板厚の最小値が決められている。高張力鋼板を採用することにより板厚減少が図れる部品は、表1の斜線部に多いといえる。以上の観点から実験対象部品を選び、プレス加工性実験およびプレス品の特性評価を行ない、車体部品に適する高張力鋼板の特性を明らかにした。1), 2)

3. 供試材

図1に本実験を用いた材料の特性値のバランスを示す。図1から明らかのように、各特性値が広範囲に分布しているが、これは最近の鋼板製造技術の向上によって意図的に成し得たものである。とくに降伏比と $\bar{\epsilon}$ の分散範囲が広がっている。2相組織鋼板は強度-延性バランス、降伏比および $\bar{\epsilon}$ で特徴あるグループを成している。

4. 実験結果および考察

4.1 プレス成形性

(1) 内板浅絞り、曲げ加工部品

表1. 車体の板厚決定要因

特性 部類	板厚決定要因					部 品 例
	張り剛性	耐デント性	部材剛性	耐久強度	大 変 形 衝撃強度	
外 板	◎	○		△	○	フード・アウト ドア・アウト トランク・リッド・アウト
内 板 (パネル)	◎	△	○	○	○	フロア ダッシュ アードレージ
内板構造 部材 (注1)	A		◎	○	○	ボディ・サイド・メンバ クロス・メンバ カウル・ボックス
	B		○	◎	○	サイド・メンバ デフ・マウント・メンバ
	C		○	○	◎	ドア・ガード・バー サイド・メンバ レーンフォース・シートベルト
基礎式 (注2)	$S \propto E \cdot t^3$ $P_b \propto E \cdot t^3$ $f_y \propto t \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$P_d \propto \sigma_{ys} \cdot t^2$ $E \propto \frac{\sigma_{ys}^2 \cdot t^4}{S}$	$K_b \propto E \cdot t$ $f_b \propto \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$\sigma_{dc} \propto \sigma_{ts}$	$P_c \propto t^{1.85} \cdot \sigma_{ys}^{0.575}$	

斜線部 : 高張力鋼板が特に有効と考えられる特性
◎ : この特性により支配される対象部品 多
○ : " 中
△ : " 少

図2に内板軽加工部品の成形実験結果を示す。引張強さ45kgf/mm²以下の材料ですべて良品が取得できた。プレス条件は現行生産条件と同一である。

(2) ドアアウト

この部品はプレス成形時ドアハンドルエンボス周辺に歪を発生しやすい。その歪の発生状況を材料特性値との関係で整理した結果を示す。降伏点および引張強さの上限が存在することがわかる。(図3)

(3) フードアウト

図4にフードアウトの成形可能領域と材料特性値の関係を示す。(成形可能領域: しわ寄せ圧力を弱くするとしわやひずみが発生するようになり、しわ寄せ圧力を強くするとわれが発生し、良品が成形できなくなる。良品を成形するためのしわ寄せ圧力の許容範囲を成形可能領域とよび、圧力またはしわ寄せのアジャスト量で表示する。プレス現場で安定した生産を行なうためには、ある程度広い成形可能領域が必要である。) この部品は広い成形可能領域をもち、引張強さ43.7kgf/mm²以下、降伏点27.8kgf/mm²以下ですべて生産可能である。

(4) リアフロアリア

写真1にリアフロアリアの外観を示す。図5にリアフロアリアの成形可能領域と $\bar{r}$ の関係を示す。この部品の場合、 $\bar{r}$ とは強い相関があるが、降伏点や伸びの値とは相関が認められなかった。2相組織鋼板では低降伏点高 n 値にもかかわらず、しわ、われの発生により成形できなかった。

部品名	部品概略形状	供試材の機械的性質					結果
		板厚mm	降伏点kg/mm ²	引張強さkg/mm ²	伸び%	$\bar{r}$ 値	
ダッシュサイド		0.8	28.8	39.9	39.9	1.10	OK
		0.8	25.4	42.7	37	1.73	OK
		0.8	30.1	44.5	33	1.28	OK
		0.8	37.6	57.0	31	0.92	NG
メンバリアンヨックアップソール		1.6	28.1	39.3	42.3	1.03	OK
		1.6	26.0	41.0	39	1.24	OK
		1.6	25.2	43.2	39	1.42	OK
		1.6	32.5	46.2	35	1.17	NG
メンバリアンヨックアップソール		1.6	30.8	69.8	26	0.84	NG
メンバリアンヨックアップソール		1.6	27.8	39.2	41.6	1.03	NG
		2.0	28.8	44.0	38	1.54	NG
		1.4	28.5	39.5	43.8	1.04	OK
スプリングバック		1.4	25.1	41.0	39.0	1.32	OK
		1.4	26.8	43.1	38.0	1.46	OK
		1.4	32.7	63.1	29.0	0.88	NG
		1.0	29.8	39.8	42.9	1.09	OK
スプリングバック		1.0	26.2	41.2	37	1.26	OK
		1.0	27.6	42.8	35	1.77	OK
		1.0	39.9	55.2	29	0.98	OK
		1.0	29.8	39.8	42.9	1.09	OK

図2. 軽加工部品の成形結果

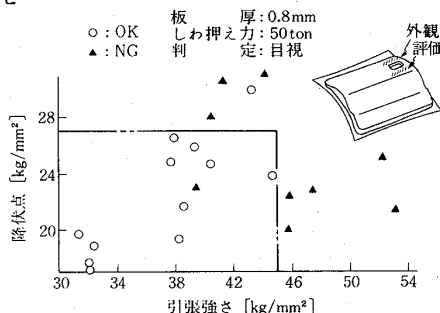


図3. ドアアウトの成形結果

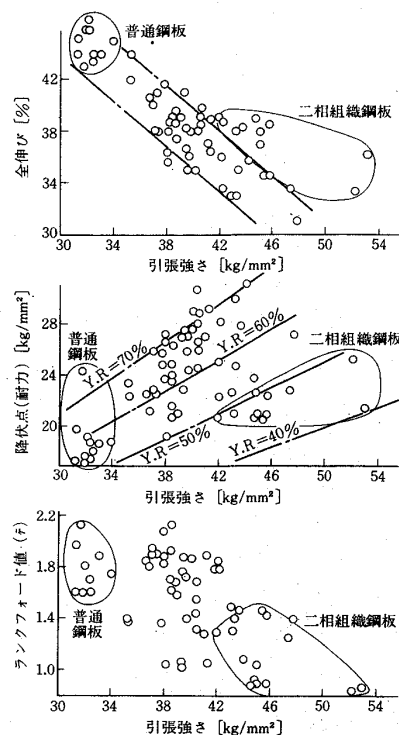


図1. 材料特性値のバランス

供試材の機械的性質				成形可能領域(注)		
降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	$\bar{r}$ 値	弱←しわ寄せ圧(アジャスト量)→強		
17.4	32.1	46.8	1.59	0	-0.3	-0.9
20.7	38.6	38.4	2.13	OK		
22.5	36.7	40.6	1.83	OK		
23.6	43.0	33.0	1.49	OK		
26.3	38.7	37.4	1.68	OK		
27.0	38.0	38.0	1.87	OK		
27.0	39.6	35.0	1.87	しわ寄せNG	OK	
27.3	39.5	36.6	1.75	OK		
27.8	43.7	38.3	1.46	OK		

図4. フードアウトの成形結果

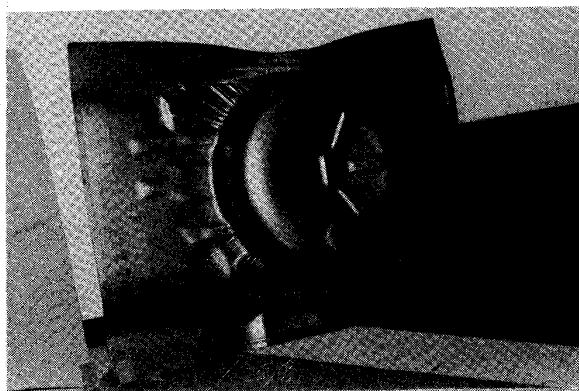


写真1. リアフロアリア外観

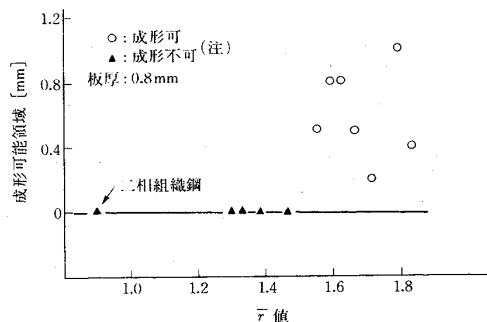


図5. リアフロアリアの成形性

(5) フロントフェンダ

写真2にフロントフェンダの外観を示す。図6にフロントフェンダの成形可能領域と降伏点および $\bar{r}$ との関係を示す。 $\bar{r}$ の下限値と降伏点の

上限値が存在するが、高 n 値材（一部の2相組織鋼板）については、 $\bar{r}$ が低くとも成形可能であった。また図7に n 値および $\bar{r}$ と成形可能領域の関係を示す。図より明らかなように、 $\bar{r}$ が小さくなくても、 n 値がある程度大きければ成形可能であることがわかる。これは絞り深さが40mmという比較的浅い絞りであるために、リアフロアとは異なり $\bar{r}$ の低下を張り出し成分で補償したものと考えられる。ただし n 値が高いということは $\sigma = Fe^n$ の式から明らかなように引張強さを一定にしたときに降伏点が低くなり、耐デント性を損う可能性が大きい。

4.2 形状凍結性

しわ押え圧力（BHF）を変化させてドアアウトをプレスしたときの、ドア長手断面曲率半径とドア中央部の伸び歪との関係を図8に示す。伸びを2%以上与えればモデル形状と同等の40mRに収れんする。伸びが2%未満の範囲ではRが大きくなるとともにばらつきも増す。図9に素材の降伏点とドア中央部の伸びの関係を示す。BHF=65 TONのとき、ドア中央部に2%以上の伸びを与えるためには素材の降伏点が24kgf/mm²以下でなければならない。降伏点が26kgf/mm²を超えると2%以上の相当歪を与えることが困難である。BHFが50 TONのとき伸び歪は小さい。

4.3 耐デント性

図10にプレス加工後の降伏点と荷重20kg付加時の残留へこみ量およびED塗装（電着塗装）焼付の影響を示す。降伏点の上昇により耐デント性が向上し、塗装焼付後の降伏点が26kgf/mm²以上あれば残留へこみ量は0.04mm以下となり、実用的な強度となる。プレス後（△）と塗装焼付後（▲）のカーブに若干レベルの差が認められるが、これは塗膜の影響があらわれたものと思われる。

また材料により、焼付による降伏点の上昇量に差がみられ、高時効性鋼板は耐デント性に有効であることがわかる。耐デント性評価は、焼付後に行なうことが現実的である。

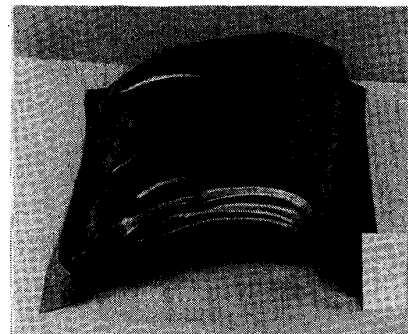


写真2. フロントフェンダ外観

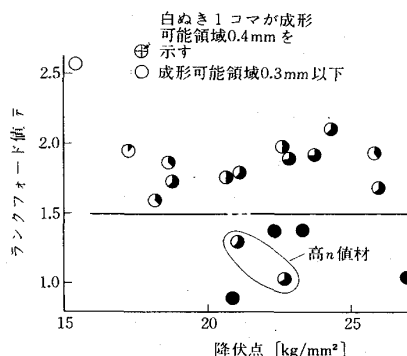


図6. フロントフェンダの成形性(1)

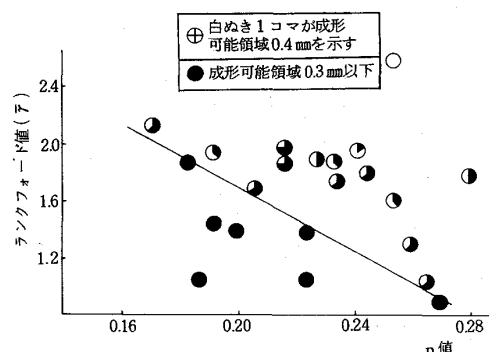


図7. フロントフェンダの成形性(2)

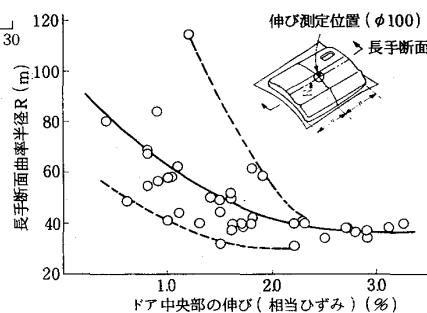


図8. ドア中央部の伸びと長手断面曲率半径Rの関係

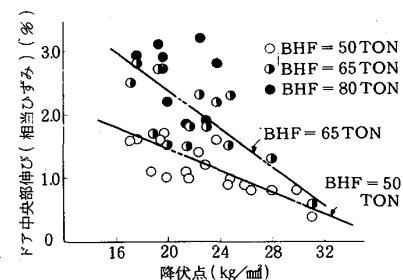


図9. 素材の降伏点とドア中央部の伸びの関係

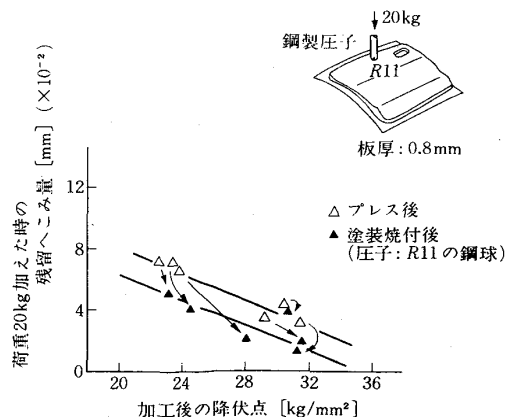


図10. 加工後の降伏点と耐デント性

5. 検 討

以上の実験結果および考察により、車体部品のプレス成形性の面から要求される高張力鋼板の材料特性が明らかになった。一方車体設計の観点から、高張力鋼板を採用する目的は耐デント性や疲労強度を損うことなく板厚減少を図ることであった。表1より $Pd \propto \sigma_{ys} \cdot t^2$, $\sigma_d \propto \sigma_{TS}$ であるから、板厚減少を期待するならば、耐デント荷重を確保するためには降伏点（とくに加工後、焼付後の降伏点）、疲労強度を確保するためには引張強さが、それぞれ普通鋼板に比べて、ある値以上でなければならない。

ここでは詳細な計算を省略するが、板厚の選択を 0.05 mm または 0.1 mm の単位で行なうとすれば、耐デント性に対しては 2% 加工後焼付を行なったとき降伏点が 27 kgf/mm² 以上あれば普通鋼板に対して板厚減少が可能となる。また、疲労強度に対しては、引張強さが 38 kgf/mm² 以上あれば、板厚減少が可能である。

6. まとめ

以上の結果により自動車車体構造用高張力鋼板の要求特性をまとめると表2のようになる。具体的には、

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 38 & \bar{r}_1 &= 1.5 \\ \sigma_2 &= 27 & \bar{r}_2 &= 1.4 \\ \sigma_3 &= 27 & \epsilon_1 &= 33 \end{aligned}$$

という値を適用すれば実用的に採用可能と判断した。

またこれらの値を図1の材料特性値と対応させると、2相組織鋼板の特性値とはずれがあり、むしろ引張強さの高い分野に2相組織鋼板の有用性があると考えられる。

以上の結果をふまえ、耐久実験を行ない、車体に採用した高張力鋼板は表3のとおりである。また、図11のハッチ部品が今後段階的に高張力鋼板に変わっていくものと考えられる。実生産に伴い、高張力鋼板特有の保全技術、型技術などが求められると思われるが、今後は、さらに難しい部品や、高い引張強さの材料の利用技術の開発が必要となろう。

参考文献

- 1) 古林, 塩川, 今井, 山崎: 日産技報 14(1979)
- 2) 塩川, 古林, 山崎: 日産技報 15(1980)

表2. 高張力鋼板の材料要求特性

部品分類	車体設計の要求		成形性の要求		
	引張強さ kgf/mm ²	σ_{WH+BH} * kgf/mm ²	降 伏 点 kgf/mm ²	$\bar{r}$	伸 び 係 数
外板絞り用	(σ_1 以上)	σ_2 以上	σ_3 以下	$\bar{r}_1$ 以上	(ϵ_1 以上)
外板一般用	(σ_1 以上)	σ_2 以上	σ_3 以下	—	(ϵ_1 以上)
内板絞り用	σ_1 以上	—	—	$\bar{r}_2$ 以上	(ϵ_1 以上)
内板一般用	σ_1 以上	—	—	—	(ϵ_1 以上)

*加工硬化(2%引張り)後焼付硬化(170℃×20分)したときの降伏点。()内は参考

表3. 高張力鋼板の車体への適用例

車 種	部品点数 (点)	製品重量 (kg)	車体のハイ テン率(%)	軽減重量 (kg)	採用部品例
セドリック, グロリア (セダン, ハードトップ)	9~16	16~39	5~11	1.5~4	フードレッジ ドアアウト
ブルーバード (セダン, ハードトップ)	30~31	36~37	14	3.5~4	メンバサイド リアフロアリア

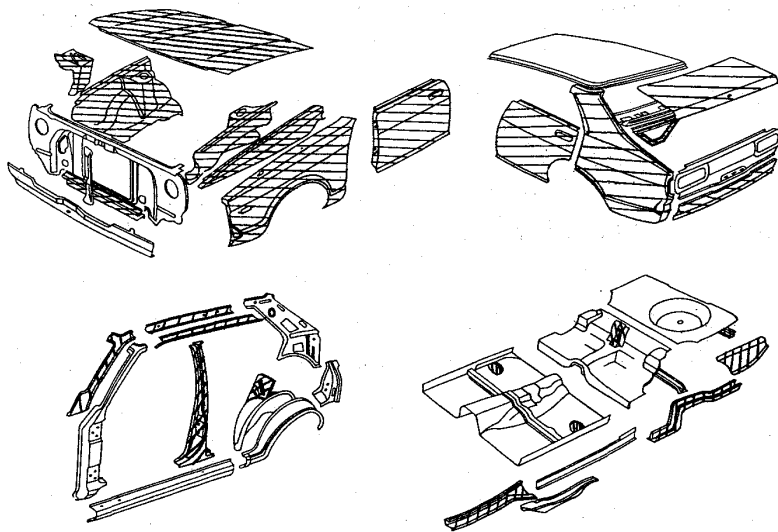


図11. 高張力鋼板の適用が有効な部品例