

# 75 衝突安全性能と軽量化の両立への試み

鷹取 収 原 敏久 上田 智彦 山本 三幸 原賀 康介 川瀬 文臣  
 ((財) 日本自動車研究所) (日産車体 (株)) (住友金属工業 (株)) (三菱電機 (株)) (イイダ産業 (株))

Attempt to Cope with both Crashworthiness and Weight Reduction

Osamu Takatori Toshihisa Hara Tomohiko Ueda Miyuki Yamamoto Kosuke Haraga Fumio Kawase  
 (Japan Automobile Research Institute) (Nissan Shatai Co., Ltd.) (Sumitomo Metal Industries Ltd.) (Mitsubishi Electric Corp.) (Iida Industry Co., Ltd.)

The objective of this study is to cope with both crashworthiness and weight reduction of vehicles. In order to obtain a basic vision of what the structures of bodies may be in the future, axial crush tests and three-point-bending crush tests were carried out using member models in behalf of actual members. As the results, all of strengthening steel, filling up urethane foam and strengthening welding are suitable for the objective.

Key word : Body, Crashworthiness, Welding / Urethane Foam, Drop Test, Energy Absorption

## 1. はじめに

自動車は社会のニーズにより常に変化が求められている。とりわけ近年はCO<sub>2</sub>削減が大きく取り上げられている。自動車関連のCO<sub>2</sub>排出量を製造、走行、廃棄の3過程に分けて考えると、走行過程でのCO<sub>2</sub>排出量は全体の70から90%にも相当すると言われている<sup>1)2)</sup>。したがって、自動車のCO<sub>2</sub>を削減するための最も有効な手段は、走行過程のCO<sub>2</sub>を抑制することと考えられる。そのためには、自動車の軽量化が不可欠となる。その一方で、自動車に関する課題は軽量化だけでなく、衝突安全性能も重要な課題である。つまり、衝突安全性能を確保しつつ、自動車の軽量化を図らなければならない。

本報告では衝撃吸収性能を衝突安全性能の評価指標として、その性能に及ぼすボデーの鋼種、発泡充填材および溶接方法の影響について実験的に検討している。

## 2. 衝撃試験

実車衝突における部材の衝撃吸収エネルギーを把握するため、自動車の構造部材をモデル化した部材(以下、試験用部材と言う)を用いて、軸圧潰および3点曲げ圧潰の衝撃圧潰試験を実施した。試験用部材には3種類の鋼種、3種類の発泡倍率の充填材、3種類の溶接方法を用い、目的に合わせてそれぞれを組み合わせた。試験結果の再現性を確認するため、軸圧潰試験は3回、3点曲げ圧潰試験は2回ずつの同一繰り返し試験を行った。以下の試験結果では、それぞれの結果の平均値を用いる。

### 2.1. 試験用部材

試験用部材の鋼板には270MPa級の軟鋼、高張力鋼として440MPa級のDP鋼および590MPa級のTRIP鋼を用いた。

高剛性発泡充填材には、加熱硬化ブロックタイプであるエポキシ系またはゴム系の発泡材に比べて、発泡倍率をコントロールし易いことから、ウレタン系発泡材を用いることにした。試験には、10倍、5倍、3倍発泡を用いた。

図1に試験用部材の形状・寸法を示す。この試験用部材は

自動車のフロントサイドメンバーおよびセンターピラーなどの閉断面部材をモデル化したものである。試験用部材の角部は折り曲げ加工で成形した。接合にはレーザー連続溶接とスポット溶接を用いた。スポット溶接のナゲット径 $d$ は、実際のボデー構造に使用されている $d=5\sqrt{t}$ ( $t$ :板厚)を標準径とした。軸圧潰試験ではスポット溶接のナゲット径の影響を把握するため、ナゲット径 $d$ を $d=7.5\sqrt{t}$ に変更した試験用部材も使用した。

### 2.2. 試験方法

試験には落錘衝撃試験装置を用いた。図2に軸圧潰試験、図3に3点曲げ圧潰試験の試験条件を示す。本試験では実車部材の平均的な変形速度を考慮して、錘体と試験用部材の衝突速度を30km/hとした。また、錘体質量は吸収エネルギーを比較するための十分な潰れ量が得られるように、試験毎に調節した。

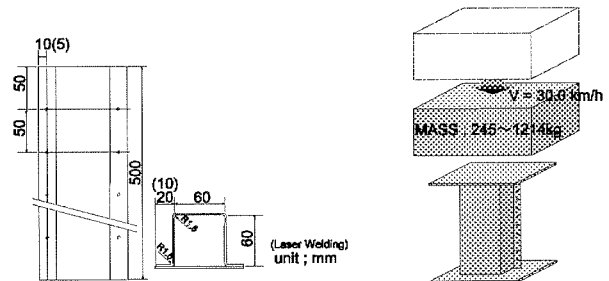


Fig. 1 Dimensions of member models Fig. 2 Test condition for axial crush

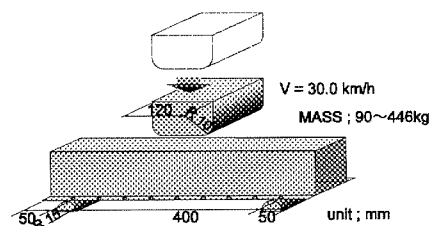


Fig. 3 Test condition for bending crush

2.3. 試験結果

表1に圧潰試験の結果を山本らの試験結果<sup>3)</sup>と併せて示す。発泡材を充填している試験用部材や板厚が2.3mmの鋼板を使用している試験用部材の一部では、溶接部が破壊し、外側に大きく膨らむ変形が発生した。溶接部の破壊は溶接部近傍の母材が切れて発生したものである。図4に試験用部材が膨らんでいる様子をカット断面で示す。溶接部が破壊していない左側は蛇腹状に鋼板が変形しているのに対し、破壊している右側は大きく外側に膨らんでいる。図5に同試験の荷重および吸収エネルギー勾配を示す。吸収エネルギー勾配が一定となる区間は、潰れ量が35から80mmの間である。35mm以前は降伏荷重により吸収エネルギー勾配が急になり、80mmでは溶接部の破壊により勾配が緩やかになっている。全試験において潰れ量50mm付近の吸収エネルギー勾配が安定していることから、吸収エネルギーは衝突瞬間から50mm変形した時点までの吸収エネルギーの総和で算出することにした。標準化のため、吸収エネルギーは試験用部材の単位長さ当たりの質量で除した値（以下、比吸収エネルギーと言う）を用いる。3点曲げ圧潰試験では溶接部が破壊している

Table 1 Test samples and test results

Test samples				Test results			
TS class	Thickness [mm]	Welding	Expansion rate of foam [time]	Axial		Bending	
				$E_{50}$ (M/L) [Jm/g]	Deformation	$E_{50}$ (M/L) [Jm/g]	
270MPa	0.8	Spot $5\sqrt{t}$	—	0.502	—	0.190	
		Laser	5	0.840	—	0.354	
	1.6	Spot $5\sqrt{t}$	—	0.700	—	0.295	
			10	0.894	—	—	
			5	1.085	—	0.465	
		Laser	3	—	—	0.525	
			—	0.882	—	0.336	
			10	1.053	—	0.416	
	2.3	Spot $5\sqrt{t}$	5	1.179	—	0.515	
			3	1.347	—	0.585	
Laser		—	0.849	—	0.395		
		5	1.231	Swell	0.596		
440MPa	1.6	Laser	—	0.934	—	0.346	
			10	1.058	—	—	
			5	1.263	Swell	0.531	
	2.3	Laser	—	—	—	0.609	
			10	1.181	—	—	
			5	1.400	Swell	0.569	
590MPa	0.8	Spot $5\sqrt{t}$	—	0.510	—	0.200	
		Spot $7.5\sqrt{t}$	—	0.552	—	—	
	1.6	Laser	—	0.685	—	0.229	
			Spot $5\sqrt{t}$	—	0.872	—	0.343
			Spot $7.5\sqrt{t}$	—	1.008	—	—
		Spot $5\sqrt{t}$	—	1.048	—	0.382	
			10	1.181	—	—	
			5	1.400	Swell	0.569	
	2.3	Laser	—	1.347	Swell	0.694	
			—	—	—	0.550	

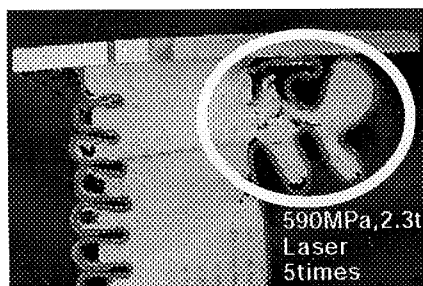


Fig. 4 Swelled member model on axial crush test (section)

試験用部材はない。なお、3点曲げ圧潰試験においても、潰れ量50mmまでの吸収エネルギーから算出した比吸収エネルギーで比較する。

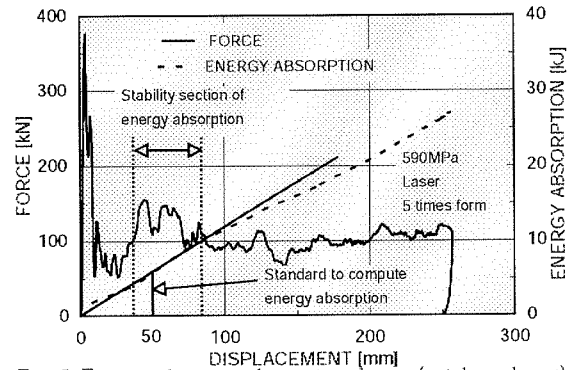
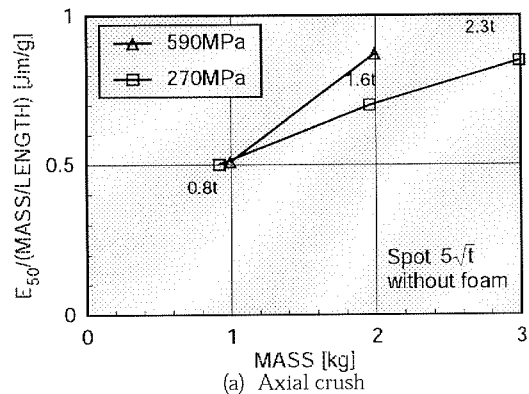


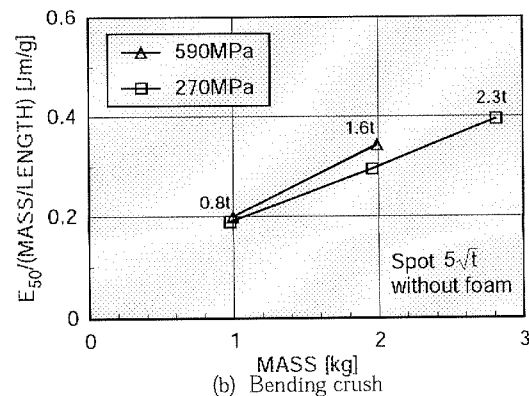
Fig. 5 Force and energy absorption slope (axial crush test)

(1) 鋼種の影響

図6に軸圧潰試験および3点曲げ圧潰試験の結果を鋼種の比較で示す。スポット溶接を用いている試験用部材の軸圧潰試験結果 (a) から、軟鋼より高張力鋼板を使用している試験用部材の方が比吸収エネルギーが高いことがわかる。板厚が増すほどその差は大きくなる傾向にある。同様の結果が3点曲げ圧潰試験結果 (b) からも確認できるが、軸圧潰試験結果より鋼種間の比吸収エネルギー差が小さい。レーザー溶接を用いた試験用部材の試験結果からも、軟鋼より高張力鋼板を用いた試験用部材の方が比吸収エネルギーが高いことを確認した。



(a) Axial crush



(b) Bending crush

Fig. 6 Influence of TS class on energy absorption

(2) 発泡充填材の影響

図7に軸圧潰試験および3点曲げ圧潰試験の結果を発泡材の有無の比較で示す。それぞれの試験で発泡材を充填している試験用部材は、270MPa級および590MPa級の板厚1.6mmのものである。

軸圧潰試験結果 (a) を見ると、発泡倍率が低くなるほど比吸収エネルギーは高くなる。これは発泡材の強度が試験結果に反映されたためと思われる。590MPa級の板厚1.6mmの試験用部材に10倍と5倍の発泡材を充填したときの比吸収エネルギーは、発泡材を充填せずに板厚を増した試験結果より高い。同様に、270MPa級の試験用部材に発泡材を充填したときでも、590MPa級の板厚を増したときの比吸収エネルギーより大きくなり得る。これらのことより、質量増加を極力抑えながら吸収エネルギーを増したい場合、発泡材の充填は有効であることがわかった。同様の結果が3点曲げ圧潰試験結果 (b) からも確認できる。

図8に軸圧潰試験後の試験用部材における変形モードの比較を示す。両試験用部材は波状に潰れているが、充填材の有無により波の大きさに差異がある。発泡材を充填していない試験用部材に比べ、発泡材を充填している試験用部材は波が小さい。これは発泡材があるため、部材の中心方向への変形が抑えられたためである。図9に座屈波の実長 $e$ と平均荷重の関係を示す。平均荷重は衝突瞬間から潰れ量50mmまでの平均荷重である。発泡材を充填していない試験用部材の座屈波の実長と平均荷重には相関があるが、充填と未充填の試験用部材を合わせて見ると相関がない。つまり、発泡材を充填することにより座屈波の実長は短くなる

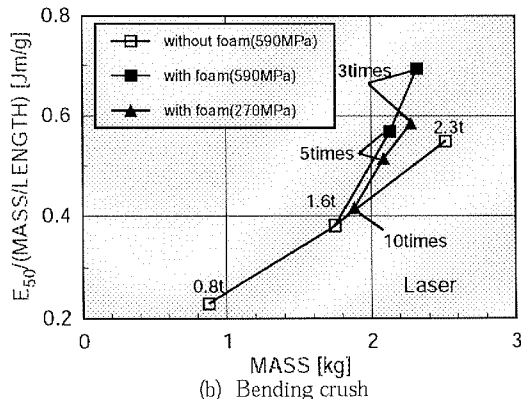
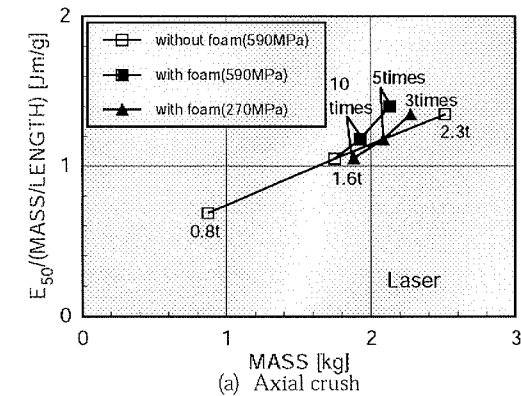


Fig. 7 Influence of foam on energy absorption

ものの、平均荷重の増加には座屈波の変化が寄与していないと言える。

図10に3点曲げ圧潰試験の試験用部材における変形モードの比較を示す。同図は潰れ量50mm付近に達した瞬間の様子である。3点曲げ圧潰試験では発泡充填材の有無により変形モードが異なる。発泡体を充填していない試験用部材は、インパクトの接触面で局所的な凹みが発生し、その付近の側壁は大きく膨らむ。これに対し、発泡材を充填している試験用部材はインパクトの接触面で大きな変形は生じず、側壁の膨らみも小さく、インパクトの両端部付近でしわが発生している。発泡材が充填されているために荷重が分散したことによるものと思われる。

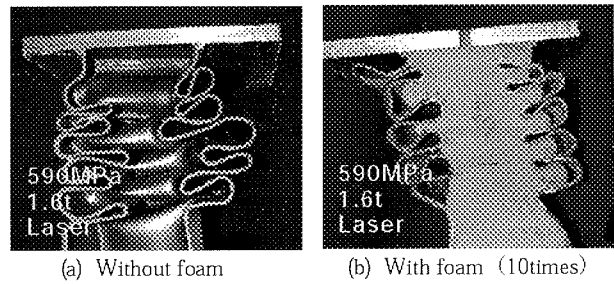


Fig. 8 Influence of foam on deformation (axial crush)

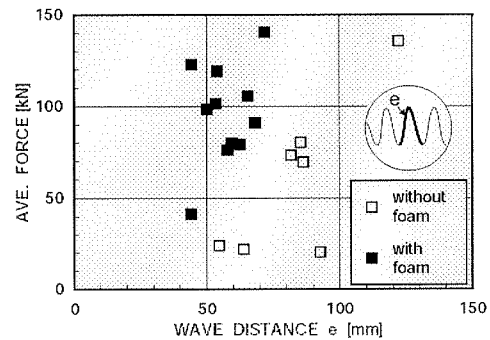


Fig. 9 Correlation between wave distance and average force

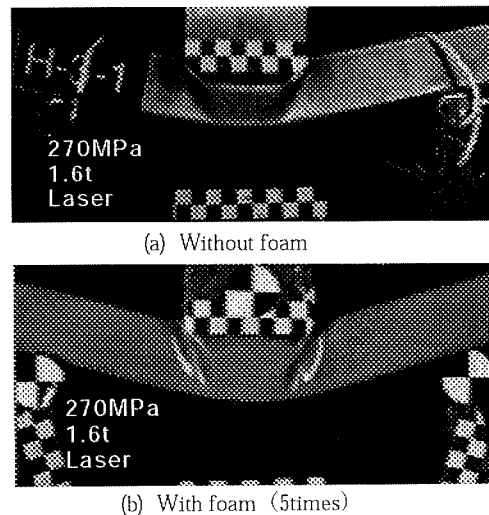


Fig. 10 Influence of foam on deformation (bending crush)

### (3) 溶接方法の影響

図11に軸圧潰試験および3点曲げ圧潰試験の結果を溶接方法の比較で示す。発泡材未充填の軸圧潰試験結果 (a) に注目すると、レーザーの連続溶接で接合した試験用部材は、スポット溶接のものより比吸収エネルギーが高い。スポット溶接のナゲット径が $7.5\sqrt{t}$ の試験用部材は、ナゲット径が $5\sqrt{t}$ のものより比吸収エネルギーが高い。溶接の衝撃強度が比吸収エネルギーに影響しているものと思われる。レーザー溶接の比吸収エネルギーがスポット溶接のものより高いことは、3点曲げ圧潰試験結果 (b) から確認できる。さらに、発泡材を充填した試験用部材の試験結果からも同様の傾向を確認した。

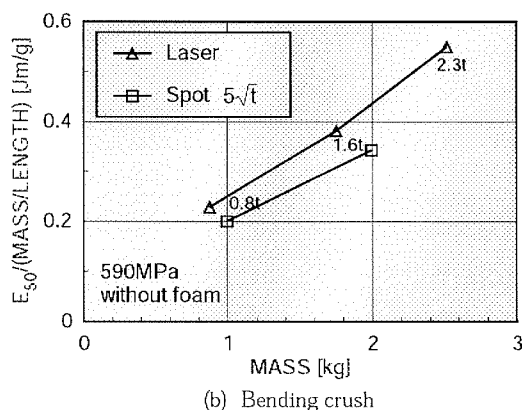
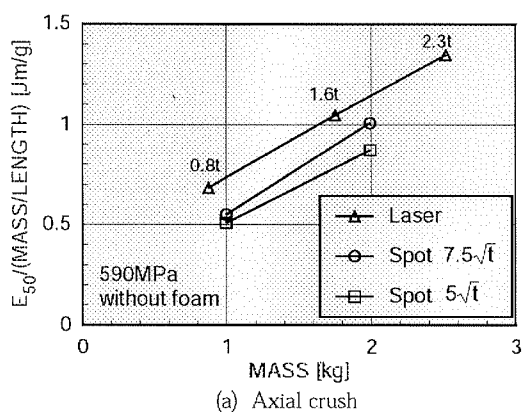


Fig. 11 Influence of welding on energy absorption

### (4) 質量低減効果

吸収エネルギーの影響因子である鋼種、発泡充填材、溶接方法を単独および組み合わせて変更したとき、どれだけの質量低減効果が期待できるかを試算した。変更前の吸収エネルギーと同じエネルギーを吸収するための板厚を推定するものである。このため予め板厚と吸収エネルギーの関係を $E_{50} \propto t^n$ と仮定して、板厚指数 $n$ を最小二乗近似で求めた。それぞれの試算には板厚1.6mmの鋼板を用いた試験結果を基準として、板厚指数 $n$ から同じエネルギーを吸収できる板厚 $t$ を算出した。

表2に質量低減効果の試算結果を示す。鋼板の高張力化、発泡材の充填および溶接方法の強化のいずれを変更しても軽量化を実現できることがわかる。高張力化および溶接方

法の強化では軸圧潰モードに効果が大きく、発泡充填剤では3点曲げモードに効果が大きい。また、溶接方法の強化ではスポット溶接のナゲット径を大きくするだけでも質量軽減に寄与することがわかる。

鋼種、発泡充填材、溶接方法を組み合わせて変更した場合も、単独で変更したときの質量低減効果の和と同等である。このことから、鋼種、発泡充填材、溶接方法の改善を組合せたことによって特異な現象は発生しないと見える。

Table 2 Estimated weight reduction

Modification		Weight reduction [%]		Note
		Axial	Bending	
TS class	270MPa →590MPa	9	6	Laser
	440MPa →590MPa	6	4	Laser
Foam	Non→5times	20	25	270MPa Laser
Welding	Spot $5\sqrt{t}$ →Laser	15	11	590MPa Inc. flange effect
	Spot $5\sqrt{t}$ →Spot $7.5\sqrt{t}$	7	-	590MPa
TS class & Welding	270MPa→590MPa Spot $5\sqrt{t}$ →Laser	25	18	
Foam & Welding	Non→5times Spot $5\sqrt{t}$ →Laser	35	34	270MPa

### 3. まとめ

自動車の衝突安全性能と軽量化の両立を目指し、鋼種、発泡充填材および溶接方法について軸圧潰試験および3点曲げ圧潰試験を行った。その結果、鋼板の高張力化、発泡材の充填および溶接方法の強化はいずれも衝突安全性能を維持しつつ、軽量化を図れることがわかった。特に、3点曲げ圧潰モードにおける発泡材の充填は、部材の変形モードをコントロールする効果があり、これを利用することで効率的なエネルギー吸収が実現できると考える。但し、鋼板の高張力化または発泡材を充填し、高吸収エネルギーを部材に期待する場合、部材の接合強度に十分留意しなければならない。

### 参考文献

- 小林ほか、自動車のLCA研究、第2回エコバランス国際会議講演集、P76-79 (1996)
- 船崎ほか、乗用車のライフサイクル・インベントリ分析—廃棄段階の重要性と課題—、自動車技術会講演集、79-99 (1999)
- 山本ほか、薄板溶接方法の比較と部材の動的圧潰特性、自動車技術会シンポジウム No.9705 (1997)