

# 高強度鋼板の適用による衝撃エネルギー吸収能の向上

## Improvement of Crashworthiness by Application of High Strength Steel

古 迫 誠 司<sup>\*(1)</sup>    上 西 朗 弘<sup>\*(2)</sup>    宮 崎 康 信<sup>\*(3)</sup>  
 Seiji FURUSAKO    Akihiro UENISHI    Yasunobu MIYAZAKI

### 抄 録

TRIP鋼やDP鋼のフローストレスは析出鋼(HSLA)のそれに比較し低歪速度( $10^{-3}/s$ )で低く高歪速度( $10^3/s$ )で高い。これは2鋼種がプレス成形性と衝撃吸収特性の優れたバランスを有することを示唆する。これら2鋼種をフロントサイドメンバのモデル部材に適用し、さらににフランジを従来のスポット溶接からレーザーによる連続溶接に代替すれば部材の衝撃吸収特性を向上できる可能性を示した。本手法は車両重量の軽減にも有益であると考えられる。

### Abstract

Flow stress of TRIP-steel and DP-steel is lower at a low strain rate ( $10^{-3}/s$ ), but higher at a high strain rate ( $10^3/s$ ) compared with ordinary HSLA steel, which indicates that they have superior combination of the press formability and the energy absorption capability. It was shown here that the crashworthiness of modeling components of a front-side-member was possibly improved by applying the two steels to the components and changing the welding method from conventional spot welding to laser-continuous welding. This technique is also beneficial to reduce the weight of auto bodies.

### 1. はじめに

自動車における衝突安全基準の厳格化や高性能・高機能化は車両重量の増加を招いている(図1)<sup>1)</sup>。これは環境問題に端を発した車体軽量化による燃費向上の要請とは相反する。こうしたニーズを両立するため、さまざまな高張力鋼板の開発が行われており、ここでは代表的な2種類の高張力鋼板(TRIP鋼およびDP鋼)を紹介する。また自動車の正面衝突時に優先的に潰れて衝撃エネルギーを吸収するフロントサイドメンバに着目し、この部材に2種類の高張力鋼板を適用する場合のメリットを述べる。さらに、フロントサイドメンバでは通常フランジがスポット溶接されるが、レーザーによって連続溶接とした場合の衝撃吸収特性の向上効果についても述べる。

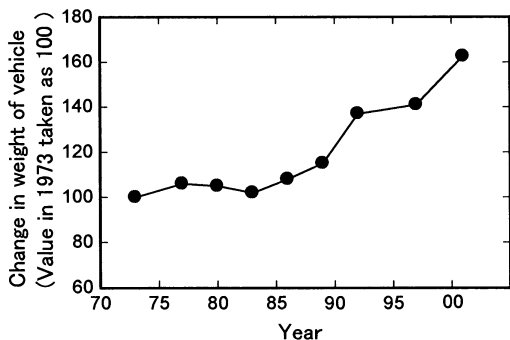


図1 日本の平均的な乗用車の車両重量比推移  
 Change in weight of Japanese middle-class vehicle

### 2. 高張力鋼板の特長と有用性

車両の軽量化のため自動車に高張力鋼板の採用が進みつつある。中でも、TRIP (Transformation Induced Plasticity: 変態誘起塑性)鋼やDP (Dual Phase: 二相)鋼は成形性に優れ、かつ衝突用部材にも適用するという利点から需要増が見込まれる。図2はこれら鋼材の特長を示しており、歪速度が(歪3~10%での平均)フローストレスに及ぼす影響を示す<sup>2)</sup>。準静的な歪速度の場合( $10^{-3}/s$ )、平均応力は析出強化鋼(HSLA)に比較しTRIP鋼やDP鋼の方が低かった。しかし、動的な歪速度の場合( $10^3/s$ )、フローストレスの向上代はHSLAよりも

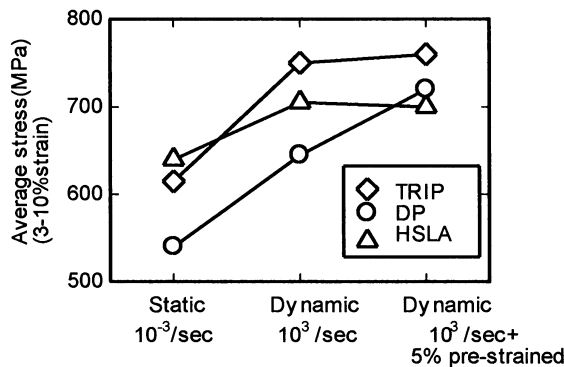
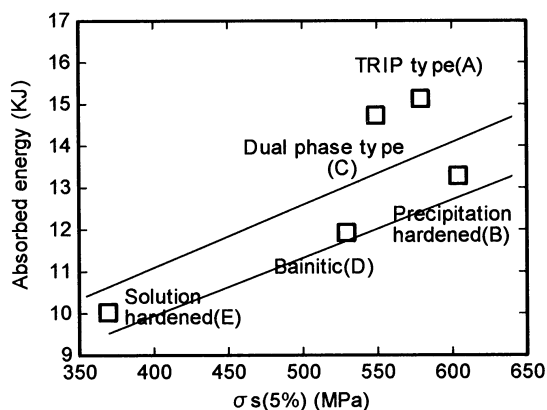


図2 歪3-10%平均フローストレスに及ぼす歪速度の影響(TS=590MPa)  
 Effect of strain rate on average stress in the strain range of 3-10% for the steels (TS=590MPa)

\* (1) 名古屋技術研究部 主任研究員  
 愛知県東海市東海町5-3 〒476-8686 TEL:(052)603-7631

\* (2) 君津技術研究部 主任研究員

\* (3) 鉄鋼研究所 接合研究センター 主幹研究員



Size of square tube=70mm × 70mm × 320mm  
Sheet thickness=2.0mm

図3 角筒軸圧潰におけるフローストレスと衝撃吸収エネルギーの関係

Relationship between flow stress at 5% strain and absorbed energy in square tube

TRIP鋼やDP鋼の方が大きかった。

さらに実際の自動車部材のプレス成形および塗装焼付けを考慮し、5%の予歪を加え、BH処理(170℃×20min)した場合の動的なフローストレスはDP鋼で著しく向上した。TRIP鋼やDP鋼はプレス成形性に優れることが知られているが、これらのデータは、成形性に加え衝撃エネルギー吸収に有効であることを示唆する。TRIP鋼では、高速変形時にTRIP効果が促進されて変形応力が大きく上昇することが高い歪速度依存性として現れ、一方のDP鋼は、予歪+BH処理による可動転位の固着を介して高い高速変形応力を示すとされる。

FEM解析によって求めた鋼材強度(5%歪時のフローストレス)と角筒の衝撃吸収特性の関係を図3に示す<sup>2)</sup>。この図からTRIP鋼やDP鋼が他鋼種よりも高い衝撃吸収特性を発揮することが分かる。上述した母材の特性が部材レベルでも反映された結果だと言える。

### 3. 継手の影響

最近、欧州の自動車会社を中心に、レーザー溶接がテールードブラークなど部品の溶接だけでなく、ルーフ等の車体の組み付けにも適用されるようになってきた。その主な狙いは連続溶接による車体の高剛性化と部材形状変更による軽量化と言われる。

レーザー溶接の一つの適用先として、フロントサイドメンバのフランジ溶接に着目し、フランジをレーザー溶接した部材の衝撃吸収特性について述べる。フロントサイドメンバは通常、図4に示すようなフランジを持った片ハット型の中空部材である。フランジはスポット溶接され、その溶接点間隔は30~50mmが一般的である。モデル部材は図4に示す断面形状(a=60mm, b=40mm)で、部材長さは300mmとした。フランジにはレーザーによる連続溶接またはスポット溶接(溶接点間隔50mm)を行った。部材の衝撃吸収特性を評価するため、作製した部材に110kgの錘を10m高さから自由落下させる軸圧潰試験を行った。

図5はその試験結果を示しており、部材の変位(潰れ代)と部材端に働く荷重の関係を表す。例えば150mm圧潰時の吸収エネルギーと比較すると、レーザー溶接部材はスポット溶接部材を15%ほど上回った。荷重は初期ピークを示したあと増減するが、この現象は部材の

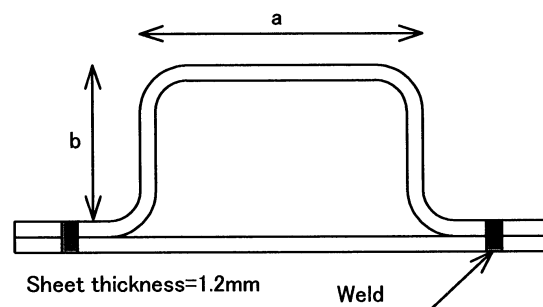
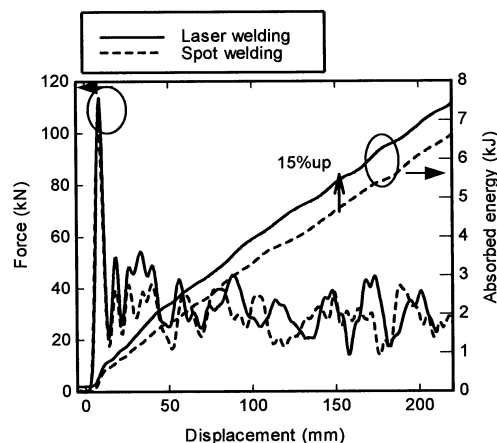


図4 片ハット部材の断面形状  
Cross-sectional shape of single hat type component



Size of single hat type component=40mm × 60mm × 300mm  
Sheet thickness=1.2mm, TS=300MPa

図5 スポット溶接部材とレーザー溶接部材の衝撃吸収特性比較  
Comparison of absorption property between spot-welded and laser-welded component

角部(曲げR部)と平板部の座屈の繰り返しによって生じる。圧潰後の両部材の外観を図6に比較する。どちらも提灯を折り畳んだような圧潰モード(Compact-mode)であったが、フランジの変形挙動は異なった。即ち、レーザー溶接部材ではフランジを構成する2枚の板がお互いに離れることなく変形したのに対し、スポット溶接部材ではフランジの板が溶接点以外では口を開くように変形した。このような両溶接によるフランジ拘束の相違のため、レーザー溶接部材の荷重レベルがスポット溶接部材に比べ高くなったと考えられる。

近年、CAE解析の利便性はますます向上しており、自動車の衝突解析においても積極的に活用されている。本部材でも軸圧潰挙動を詳細に調べるため、FEMによる部材圧潰の解析を行った。圧潰形態を図7に示すように、解析は実際の圧潰挙動を再現し、また荷重-変位の関係も実験結果を概ね再現した。さらにスポット溶接部材の場合、圧潰モードが不整となるだけでなく、圧潰の進行につれて部材が横転する可能性があることも明らかになった。従って部材の軸方向と入力方向が一致しないケースも勘案すると、レーザー溶接部材の方が所望の吸収エネルギーを安定して獲得できると予測される。今後、FEM解析の一層の活用により、衝撃吸収特性に優れる材料特性や部材形状の明確化が進むものと期待される。

さて鋼材の引張強さ(TS)と衝撃吸収特性の関係を図8に示す(実験)。部材サイズや鋼材の板厚、圧潰条件は図5の場合と同様であり、またフランジはレーザーによる連続溶接とした。試験に供した高

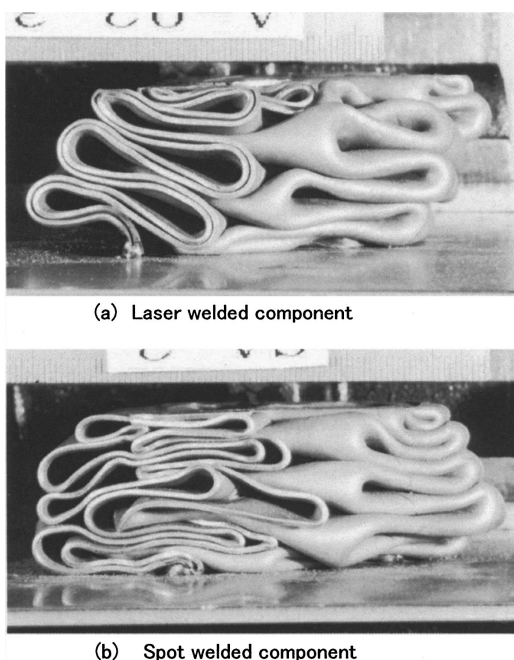


図6 圧潰形態の比較

Comparison of side-view between laser welded and spot welded component after crash test

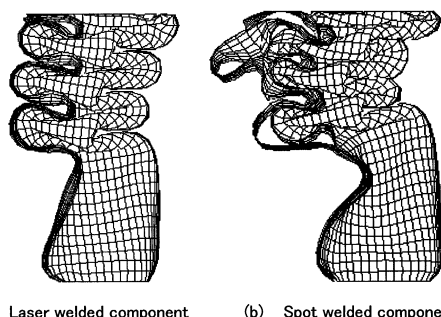


図7 FEM解析による圧潰形態の再現

Crush mode of components obtained by FEM analysis

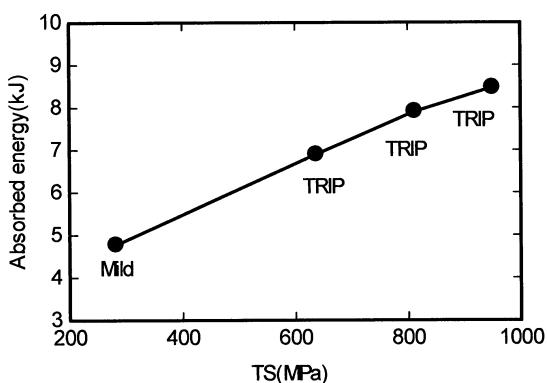


図8 鋼材強度 (TS) が衝撃吸収特性に及ぼす影響—レーザー溶接部材  
Effect of TS of steels on crashworthiness of laser welded component

張力鋼板は全てTRIP鋼である。150mm圧潰時の吸収エネルギーはTSとともに直線的に増加した。このように鋼板の高強度化と継手の高強度化(連続溶接化)によって衝撃吸収特性を効果的に高めることが可能である。

#### 4. 部材断面形状の影響

部材の衝撃吸収特性に及ぼす部材断面形状の影響も大きい。例えば、仮に部材断面積が同等でも両ハット型の部材は片ハット部材よりも衝撃吸収特性に優れる。これは、両ハット部材では角部の数が片ハット型部材より多く、角部が負担する座屈荷重の総和が増加するからである。

一方、板厚(t)/平均部材辺長(D)が衝撃吸収特性に及ぼす影響(実験)を図9に示す。このとき、tは1.2mm一定でありDだけを変化させた。平均部材辺長Dは図4で示した辺長の平均値=(a+b)/2で表現される。t/Dが減少するほど、つまりDが増加するほど衝撃吸収エネルギーの絶対値は増加した。

また、このとき得られた衝撃吸収エネルギーを部材の質量で割った値(部材単位質量当たりの吸収エネルギー)と比較すると、t/D=0.024の条件の方が高い値を示した。t/D=0.024では、圧潰モードがCompact-modeとなり(図6, 図7)、部材の大部分が変形に寄与して荷重レベルを押し上げる。しかしt/D=0.012の場合、解析結果を図10に示すように、部材は局所的な座屈を生じて直線的な部分を残す圧潰モード(Non-compact-mode)を示した。この場合、部材全体に対し変形する部分の割合が小さいため、吸収エネルギーと部材質量の比という‘効率’の点では劣位にあった。なお部材の圧潰モードはt/Dが0.015~0.020で遷移することが分かっており<sup>3)</sup>、本実験でもこの範囲の前後で圧潰モードが変化した。以上のように、部材の断面形状も衝撃吸収特性に関し考慮すべき重要な因子である。

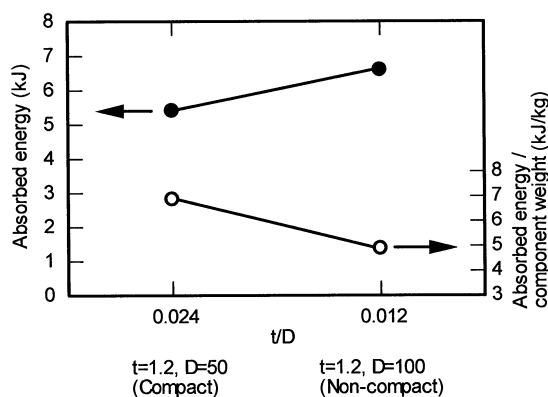


図9 衝撃吸収特性に及ぼす部材断面形状の影響  
Effect of cross-sectional dimension on crashworthiness of laser welded component

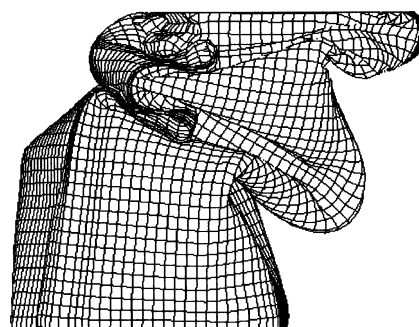


図10 t/D減少による圧潰モードの変化  
Change of crush mode with the decrease of t/D

## 5. 軽量化効果の見積もり

各鋼材強度において、角筒の衝撃吸収特性に及ぼす板厚の影響(解析)を図11に示す。衝撃吸収エネルギーは板厚やTSとともに増加した。また板厚の増加に伴い、TS向上による吸収エネルギーの上昇代は増加した。この図を利用して部材の軽量化効果を見積もることが可能である。例えば、ある部材の吸収エネルギーの目標値を6kJ以上と

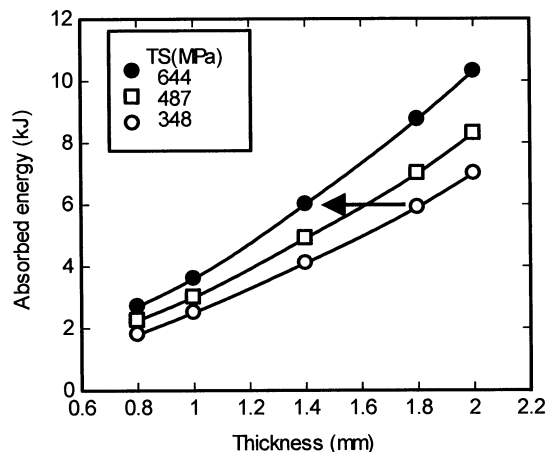


図11 板厚と衝撃吸収特性の関係  
Relationship between sheet thickness and crashworthiness

設定すると、348MPa鋼では1.8mm以上の鋼板が必要なのに対し、644MPaまで高強度化すると1.4mmまでの板厚減が可能となる(図11中に矢印で示唆)。自動車の全体構造を考慮しない単純な計算ではあるが、角筒は20%強の軽量化が可能と試算された。綾らは片ハット部材の衝撃吸収特性でも角筒の場合と同様な取り扱いを可能にしており、片ハット型部材でも同様な軽量化の試算が可能と考えられる。

## 6. おわりに

自動車の衝突安全性向上と軽量化の両立に有効と見込まれるTRIP鋼やDP鋼といった高張力鋼板の特性とその利用法の一部を述べた。単なる鋼板の置き換えだけでなく、継手構造や部材形状の最適化によって部品性能を一層向上できる可能性がある。今後も、材料特性の向上だけでなく材料を活用する工法の開発にも取り組むことで、衝突安全性向上と軽量化の高い次元での両立に貢献したい。

### 参考文献

- 1) 2001日本の自動車工業. (社)日本自動車工業会, 2001, p.51
- 2) Takahashi, M., et al.: Properties of High Strength TRIP Steel Sheets. IBEC '97, Auto Body Materials, 1997, p.26
- 3) Uenishi, A., et al.: Improvement of Crashworthiness by Application of High Strength Steel for Light Weight Auto Bodies. IBEC '97, Auto Body Materials, 1997, p.59
- 4) 綾 ほか: 車体のエネルギー吸収特性(第1報). 自動車技術会論文集, 60(1974)