

自動車の安全性を 高める“強さ”への挑戦 薄板 (4)

一般的に、鉄鋼材料は品種別に「規格（スペック）」が定められ、ユーザーはそのスペックに従って材料を指定し、用途に合わせてその材料を加工して使用する。しかし、自動車用薄鋼板は使用部位によって細かく要求特性が分かれており、自動車メーカーはそれぞれの部位で必要とする「性能（パフォーマンス）」を提示。鉄鋼メーカーは、それらのパフォーマンスを実現するさまざまな鋼板を納入する。シリーズ最終回の今号は、車体構造を「外板パネル」「骨格構造部材」「シャシー系部材（足回り部材）」に大別し（図1、表1）、それぞれの使用環境と要求特性に対応する高強度鋼板の開発事例を紹介する。

外板パネル— 補強材との組み合わせで さらなる高強度化を目指す

自動車用鋼板は、前号までの3回で解説した通り、成形性を向上させる“軟らかさへの挑戦”と、衝突安全性・軽量化ニーズに対応する“高強度化（ハイテン化）”の両立をメインロードとして技術開発が進められてきた。外板パネルには、特に良好な成形性をもたらす“軟らかさ”が求められるため、従来、焼付塗装後に硬化するBH鋼板（2007年10月号参照）以外は、鋼板製造段階で300MPa以下に強度が抑えられてきたが、最近では340MPaの強度にBH特性を付加した鋼板が使われ始めたほか、一部の部材ではBH特性なしで440MPaまで高強度化した鋼板が使用されるようになった。美しいフォルムが求められる外板パネルの強度は、裏側に位置する補強材（骨格構造部材）が補完するという従来の概念から一歩踏み出し、外板パネルの一部に440MPaの鋼板を使用して外板パネル自体の高強度化をさらに進め、外板パネルと補強材の構造全体で衝突安全性を高めた例である。

今後の方向性として、外板パネルを薄く軽くしながら骨格部材で強度を担保するのか、外板パネルと骨格が助け合いながら強度を確保するような構造が採用されるの

自動車車体の部材

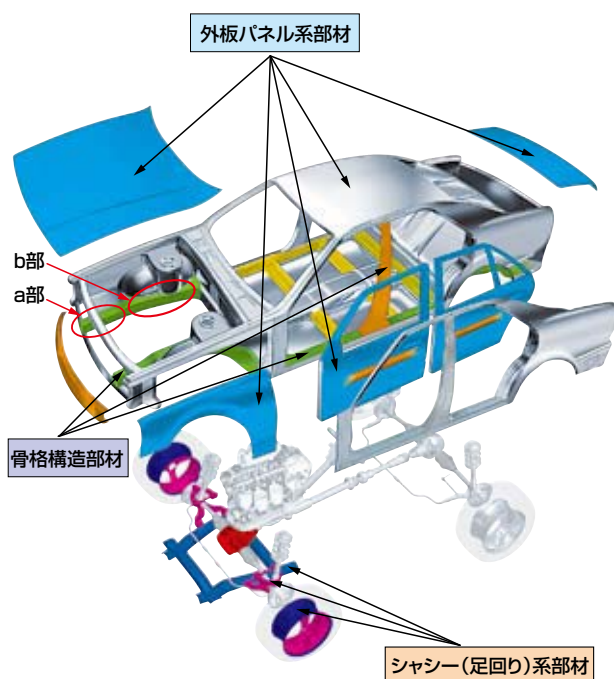
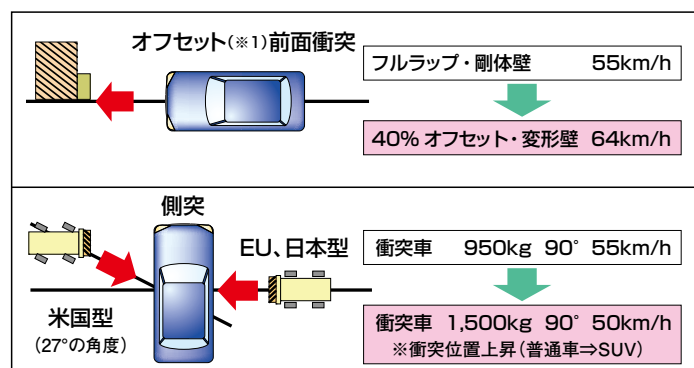


図1 各部材に必要な強度特性と材料要因 表1

部 品	必要特性				
	張り剛性	耐デント性	部材剛性	耐久強度	動的圧潰強度
外板	○	○	○	○	○
内板	○	○	○	○	○
構造部材	フロントレール リアビラー 等		○	○	○
	フロントサイドメンバー サイドシル 等		○	○	○
	ドアガードバー 等		○	○	○
	サスペンションアーム ホイールディスク 等		○	○	○
床下部材	ヤング率	降伏強度	ヤング率	強度	強度
板厚以外で特性を支配する材料因子					

衝突安全性評価厳格化の流れ （高速化、条件の多様化）

図2



※1 オフセット衝突：対向車同士が正面衝突ではなく例えば“運転席側”対“運転席側”のように偏った状態で衝突することを指す。障害物の衝撃を全面で受けるフルラップ衝突に比べて車体の変形量が大きい。

かは必ずしも明確ではないが、後者の場合には外板パネルのさらなる高強度化が進展する可能性もある。

骨格構造部材—各使用部材の多様な要求特性をつくり分ける

鋼板強度の緻密な制御と構造の工夫で最適化

家と言えば“柱・梁”に当たる骨格構造部材(図1)は、衝突時の乗員保護を目的とするものが多く、厳格化する安全基準と燃費向上ニーズを背景に、最も高強度化が期待されている部材だ。1990年代から一層強化された衝突安全性向上への取り組みでは、まずは前面衝突(前突)対策から具体的対応が開始し、その後側面衝突(側突)への対策へと進んだ。この間衝突基準の厳格化が進み、オフセット衝突(※1)条件設定も衝突試験速度を高速化したり、オフセットの割合を変更するなど、一層厳しい評価となってきた。また近年では衝突位置の高さが異なる多様な車種を想定した側突試験も実施されている(図2)。

骨格構造部材は安全性を高めるために、部位ごとに要求される強度レベルが異なる。例えば、フロントサイドメンバーの最前部(図1のa部)は前突時に潰れるように440~590MPa級の鋼板を配置し、それを支える部位(図1のb部)は変形しないように、より高強度の材料を使用

したり補強材を追加することで、衝突のエネルギーを最前部の塑性変形で吸収し、同時に乗客の空間(キャビン)にエンジンなどが侵入しないように守っている。また、これらの部品は、衝突時に設計(予定)通り変形するように各部品の鋼材強度最適化だけでなく、断面形状を適正化したり、変形開始場所にへこみ(ビード)をつけたり、補強材を設置するなど構造面からも工夫されている。このために、材料の高速変形特性の評価、変形挙動の計算機シミュレーション、さらには部品を実際に高速で潰す試験などを組み合わせて最適化を図っている(図3)。

一方、側突に対しては、ドアガードバーや側面部の骨格部材でキャビンの変形を阻止するため、1,000MPaから1,500MPaに至る高強度鋼板または比較的厚い鋼板や何層にも鋼板を重ねた構造などの採用が増えている。

これらの部材にも、要求に応じた複雑な形状への成形性を担保することが求められる。パネルの成形性では深絞り加工性や張出し成形性といった特性が必要とされたが、骨格構造部材では張出し成形性のほかに、切断端部を伸ばしたり、打ち抜いた穴を広げたりする際に割れにくい特性である伸びフランジ成形性や軟らかい材料では問題にならなかった曲げ成形性などの局部的変形に耐える特性が重要になる(図4)。高強度化に伴うこのような成形性の劣化を極力小さくするためには、鋼板マイクロ組織の緻密な制御が必要となる。

構造部材の衝突安全性評価技術

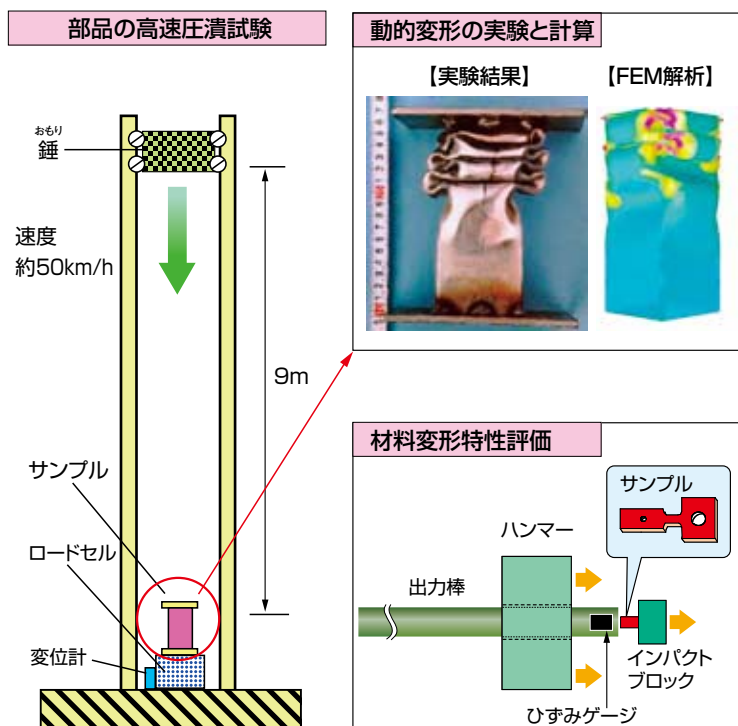
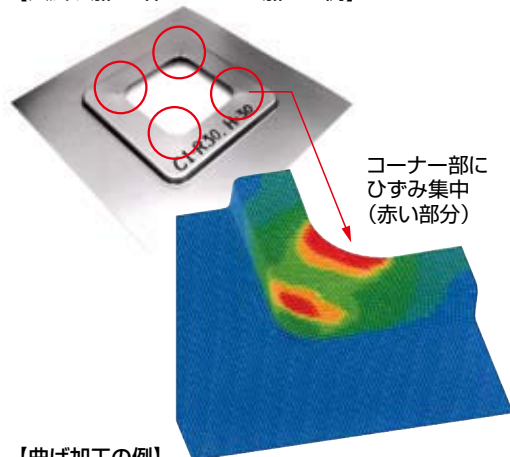


図3

伸びフランジ成形、曲げ成形の事例

【穴広げ加工、伸びフランジ加工の例】



【曲げ加工の例】

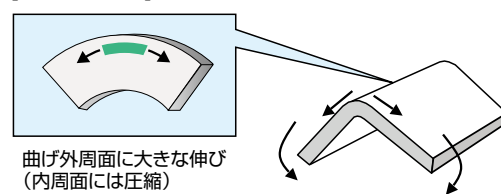


図4

「ミクロ組織の均一化」で複雑な部材形状の成形性向上を実現

新日鉄では、複雑な形状への成形性を得るために、**複合組織鋼 (DP 鋼)** のメカニズムを基軸とした緻密な組織制御により材質の最適化を図っている。

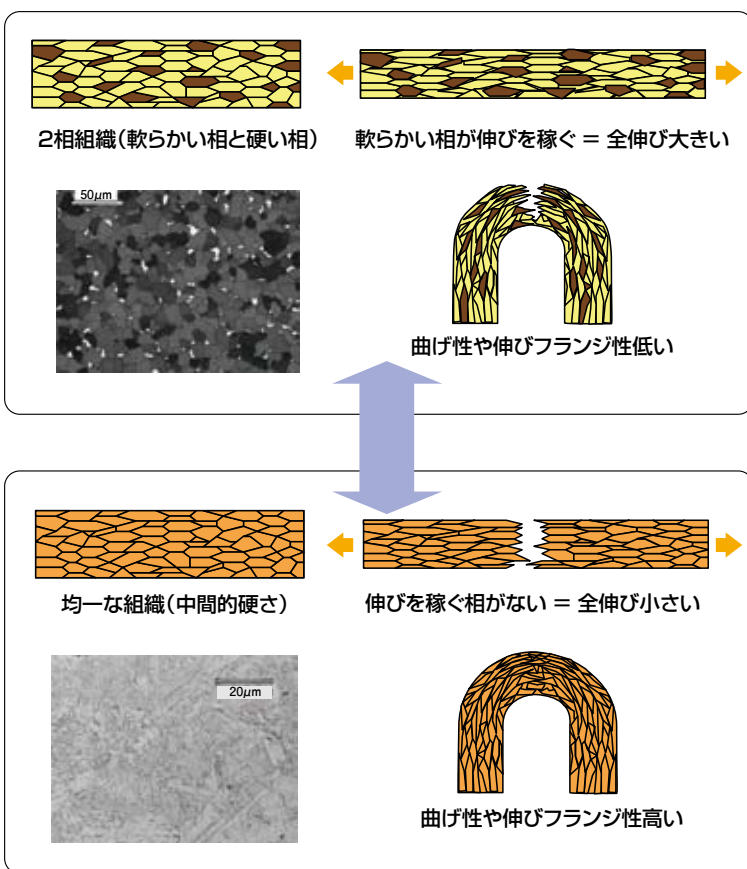
伸びフランジ成形性や曲げ成形性などの局部変形を阻害する第一の要因は酸化物などの硬い異物だ。伸びフランジ成形時に割れた材料をミクロに調査すると、そうした異物が割れの起点になっているケースが多い。つまり鋼板内に硬いものと軟らかいものが併存し、しかもその硬度差が大きいとその境界で割れが生じやすい。局所的な変形能を向上させるためには、このような硬質異物を極力除去すると同時に硬さのばらつきを抑える「**ミクロ組織の均一化**」が重要になる (図5)。

前号で紹介したように、DP 鋼では、硬度差の大きい軟らかい組織 (フェライトなど) と硬い組織 (マルテンサイ

トなど) を混ぜた複合組織化で、強度と成形時の大きな伸び変形を両立させた。非常に強度が高い骨格構造部材で要求される伸びフランジ成形性や曲げ成形性を実現するためには、DP 鋼とは逆に鋼板内のすべてを中間的な硬度を持つ組織 (ベイナイトなど) にするといった組織の均一化が有効だ (図5)。さらに、局部変形に加えて延性も求められる場合には、これらの2つの考え方を組み合わせて、硬度差の小さな複合組織化が採用される。フェライト、ベイナイト、マルテンサイトなどの割合を調整するだけではなく、軟らかいフェライトに他元素 (マンガンなど) を添加して硬度を高める固溶強化の手法などを駆使して、部材ごとの成形条件に応じた最適な材質、すなわちミクロ組織をつくり込んでいる。

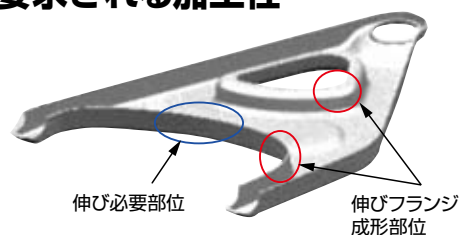
新日鉄では現在、980MPa級もしくはそれ以上の高強度を維持しながら、延性と伸びフランジ成形性を両立した超高強度鋼板をはじめ、強度と延性、伸びフランジ成形性などの組み合わせにより、部材ごとの要求特性に応える鋼材のメニュー化を図っている。

加工性に応じたミクロ組織制御の考え方 図5

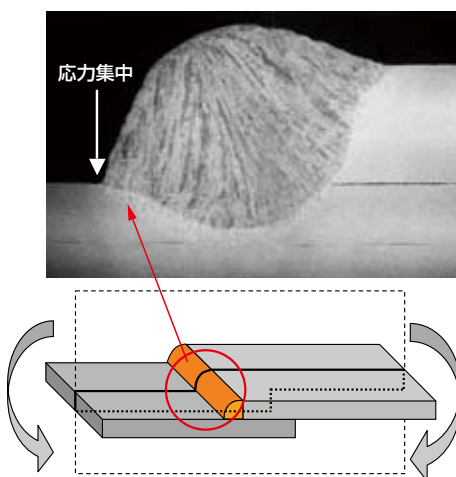


高強度で大きな伸び変形を可能にするためには、軟らかい組織の中に非常に硬い組織をちりばめた複合組織化が有利。一方、骨格構造部材やシャシー系部材で要求される局部的に大きな変形が必要な伸びフランジ成形性や曲げ性を良くするためには、変形の集中を避けるために全面を同じような強度にする均一組織化が有効。

シャシー系部品の例と写真1 要求される加工性



溶接部への応力集中のメカニズム 図6



溶接部端部のように、滑らかではない「角」の部分があると、走行時に繰り返し受ける振動や衝撃の力 (応力) がその「角」の部分に集中し、割れが生じやすい。板厚が薄くなった場所や、切り込みがある場所も同様に弱点になる場合がある。

シャシー系部材—高強度化を含めた重要保安部品の「信頼性」を追求

自動車の安全性の基盤を担うシャシー系部材(図1)は、車体重量を静的に支える座屈強度をはじめ、走行時の動的・外的環境による疲労強度、耐食性など多様かつ厳格な品質が要求される「重要保安部品」だ。最も重要な課題は、鋼材強度だけでは決まらない部材としての「耐久性(長寿命)」と「信頼性」だ。このため、現在は比較的厚みのある熱延鋼板(2mm程度以上)が使用されている(外板パネルは1mm程度以下、骨格構造用部材は1~2mm程度の薄手の冷延・亜鉛めっき鋼板)。

新日鉄では長年、耐久性と加工性に優れたさまざまな熱延鋼板を開発・提供し、シャシー系部材での鋼材の高強度化による軽量化(薄手化)を進めてきた。ホイールディスクでは540~590MPa級のDP鋼適用により軽量化と疲労強度の向上を実現した。また、シャシー系部材に要求される伸びと伸びフランジ成形性(写真1)の両立のため、フェライトとベイナイトを使った複合組織化を前提に、各組織の強度の差を小さくし、硬い炭化物を極力低減した780MPa熱延鋼板を開発した。

しかし全般的に見ると、シャシー系部材は外板パネルや骨格構造用部材ほど高強度化による軽量化が進んでいない。その大きな理由は溶接部の疲労強度にある。走行時に繰り返し受ける不規則な振動や衝撃の力(応力)は、曲げコーナーや端部、板厚が変動している箇所などにかかるが、特に溶接部端部に集中しやすい(図6)。このように応力が集中する

構造では、疲労強度は鋼材強度に依存しないケースが多く、高強度化による軽量化が進みにくい。今後、鋼材の高強度化により車体軽量化をさらに進めるためには、鋼材の進化のみならず溶接部などの弱点の克服が不可欠だ。現在、新日鉄では、自動車メーカーとの協業の過程で溶接手法の改善による溶接部の高強度化や、応力を集中させない形状・構造設計にまで踏み込んだ研究開発を推進している。

自動車メーカーとの協業により、多彩なソリューションを提案

新日鉄の強みは先進の材料技術開発力に加えて、構造解析技術や接合技術など多彩な研究領域を融合したソリューションを提供できる点にある。要求される形状へのプレス成形の可能性や改善の提案から、一つの部品や幾つかの部品を統合した部品群に対する要求特性(衝突時のエネルギー吸収能や変形量、疲労特性、剛性など)を満足させる材料の組み合わせ・構造の提案に至るまで、各種ソリューション提案が可能だ。また、これらの作業を車体設計の初期段階から自動車メーカーとの協業の中で進めることで、より一層効果的な構造と材料の組み合わせ、さらには鋼材の製造から完成品まで一貫での最適製造方法を提案できる。

新日鉄では、材料開発と各種ソリューション技術開発の機能を持つ鉄鋼研究所と、日本全国に製造基盤を持つ自動車メーカーと直接対話を続けている各地の製鉄所の技術研究部、さらには基盤技術や製造プロセスの研究開発部門が、材料を供給する製鉄所の各部門と協力して、お客様と強力な連携を続けている。

市場と対話しながら材料を開発・進化させてきたことが日本の鉄鋼業の強み

自動車はこれまでも、そして今後も鉄鋼業にとっては最も重要な市場の一つです。手づくりになかった自動車製造がプレス機の導入によって大量生産時代に入る際に、プレス成形性が良好な軟らかい鋼板の開発が始まり、その後の環境問題や省エネルギー、衝突安全性へ対応する車づくりの中でさまざまな高強度鋼板開発が進みました。つまり材料は市場で使われることによって進化するものであり、その開発(進化)の方向性は市場との対話の中で明確になってきます。このような連携がまさに日本の強みです。

今後予想される自動車の一層の軽量化や安全性向上の要求に応えるためには、鋼板のさらなる高強度化が必須です。パネルと骨格部材の分担最適化を可能にするためのパネル用高強度鋼板や成形性に優れた骨格部品用超高

強度鋼板のメニュー化とともに、プレス成形段階での熱の利用や新しい成形方法の検討も重要となります。また、溶接部などの応力が集中する部位の疲労強度向上や耐食性向上などの研究開発も進め、最適構造を達成することのできる自動車用鋼板群とその適用技術を開発していきたいと思っています。

監修 新日本製鉄(株) 技術開発本部 鉄鋼研究所
鋼材第一研究部長

高橋 学 (たかはし まなぶ)

プロフィール

1956年生まれ、熊本県出身。物理学専攻。

1982年入社。

自動車用薄鋼板、特に高強度鋼板の研究開発に従事。

2007年4月より現職。

