

(解説)

自動車用ハイテンと利用技術

岩谷二郎・渡辺憲一・大宮良信

鉄鋼部門・加古川製鉄所・技術研究センター

High Strength Steel and Practical Technologies for Automotive Parts

Jiro Iwaya・Kenichi Watanabe・Yoshinobu Omiya

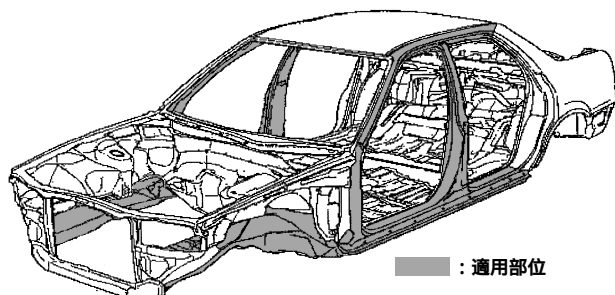
For improved fuel economy, car body weight must be reduced. To serve that purpose, TS 590-980MPa grade, a new advanced high-strength steel (H. S. S.) has been developed. Research and development efforts related to this new breed of steel is increasing and becoming more important. Advances in forming, rigidity and crash simulation, in agreement with experimental results, forming knowledge, technology to compensate for H. S. S. material weakness, and new technologies (like laser welding and quench hardening) are expected to broaden H. S. S. car body part applications in the near future.

まえがき = 地球温暖化対策として自動車の燃費改善による二酸化炭素排出量削減への期待が高まっている。各自動車メーカーは動力・駆動系の効率向上と並行して車体の軽量化の技術開発を加速しつつある。薄鋼板素材の観点からは、ハイテンと呼ばれる高張力鋼板の適用による部品の薄肉化が車体重量軽減策として注目を集めているが、強度上昇にともなう成形性の低下がその適用をはばむ課題となっている。近年、加工性を高めたハイテンの開発が急速に進んでいるが、いっぽうで加工性を補う成形手法の研究やシミュレーションによる金型設計および部品評価技術がいちじるしく進歩し、ハイテンの適用拡大をうながしている。以下に最近のハイテン化動向と加工技術、利用技術の現状を概説する。

1. 車体のハイテン化動向

2000年以降に発売された自動車においては、それまで一部の車種、部品にしか使われていなかった590MPa級鋼板を、第1図に示すように前後面および側面からの衝突対応部品に適用する例が増えてきた。これは、1990年代後半に複合組織型合金化溶融亜鉛めっき鋼板^{1)~3)}や残留オーステナイト熱・冷延鋼板など高加工性を有する新しいハイテン材が開発され、比較的成形難易度の高い部品への適用が可能になったためである。これによって、部品の板厚を1ゲージ薄くする、あるいはリインフォースメントと呼ばれる補強部品の省略が可能となり軽量化が進められた。

さらに現在次期モデル向けに780~980MPa級鋼の適



第1図 590MPa級鋼適用部品

Fig. 1 Application of TS 590MPa grade steel to automotive

用検討が開始されており、素材メーカーにおいて前述した材料の一層の高強度化、加工性改善を目指した技術開発が進められている。当社においては冷延鋼板では1470MPa級鋼⁴⁾⁵⁾まで、合金化溶融亜鉛めっき鋼板では980MPa級鋼までを開発しており、現在海外でのハイテン材調達性を考慮して北米PRO-TEC Coating社への技術移管を進めている。

2. 利用技術開発の現状

近年、自動車メーカーは新車開発期間の短縮や開発費用の低減を目的に、部品や工程の設計にシミュレーション技術の適用を拡大している⁶⁾⁷⁾。すなわち金型設計では、一般的に加工性の劣るハイテン材の適用検討に際して、新しい成形手法の導入が進められるいっぽう、割れ・しわや寸法精度に関する成形シミュレーションの重要度は非常に大きくなっている。さらには成形した部品機能を検証する上では剛性や衝突シミュレーションが多用されている。

現在、当社もハイテン素材の提供のみならず、その成形方法の研究を進めるとともに、多くのシミュレーションソフトを導入し、成形、剛性、衝突の各解析がおこなえる体制を整えている。以下にいくつかの事例を紹介する。

2.1 シミュレーション技術

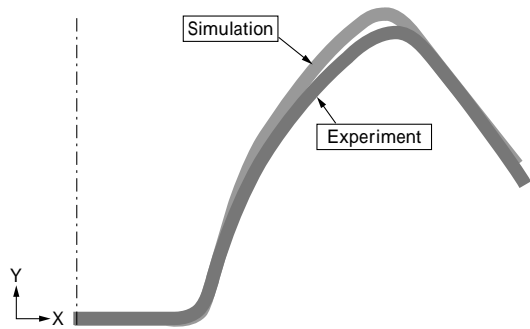
2.1.1 成形シミュレーション

ハイテン材の成形では、割れ・しわと寸法精度が大きな課題である。これらを精度良くシミュレーションすることができれば、金型設計の上で大きな武器となる。

まず、成形シミュレーションの一例を第2図に示す。これはセンタビラーを模擬した形状のモデル成形品と、それをシミュレーションした結果であり、成形過程で発生するしわ不良が、実験とシミュレーションで同様の傾向を示していることが確認できる。また、寸法精度不良に関するシミュレーション結果の一例として絞り曲げ成形後のスプリングバック現象を第3図に示すが、実験結果とシミュレーション結果は、壁反り量に相違は認められるものの、傾向は良く一致していることがわかる。



第2図 センタピラーモデルの成形シミュレーション
Fig. 2 Forming simulation of B-pillar model



第3図 980MPa 級鋼の絞りハット曲げ成形におけるスプリングバックシミュレーション
Fig. 3 Spring back simulation of hat draw bending applied 980MPa steel

現在当社ではさらにより精度良く壁反り現象を予測すべく、成形過程における素材のヤング率の変化などを計算に織り込むことを検討⁸⁾している。

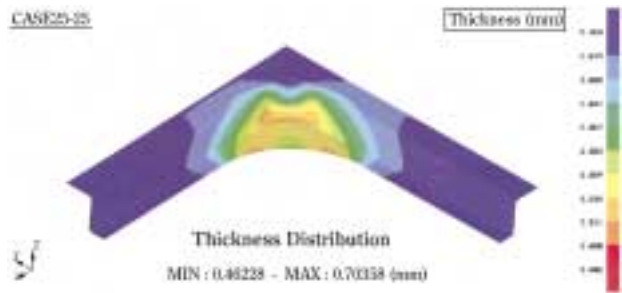
いっぽう、シミュレーションにおいてはその精度向上と並行して解析時間の短縮が求められている。近年のCPUの飛躍的な進歩と様々なソフトが生み出された結果、成形可否の簡易的な評価手法も提案されており、部品設計初期段階での適用が進められている。その解析例を第4図に示すが、シミュレーションで板厚の減少としてえられる歪み分布は、実際の現象と傾向が良く一致している。これら新しい解析法により、精度と時間の制約をかなり緩和することができている。

2.1.2 評価シミュレーション

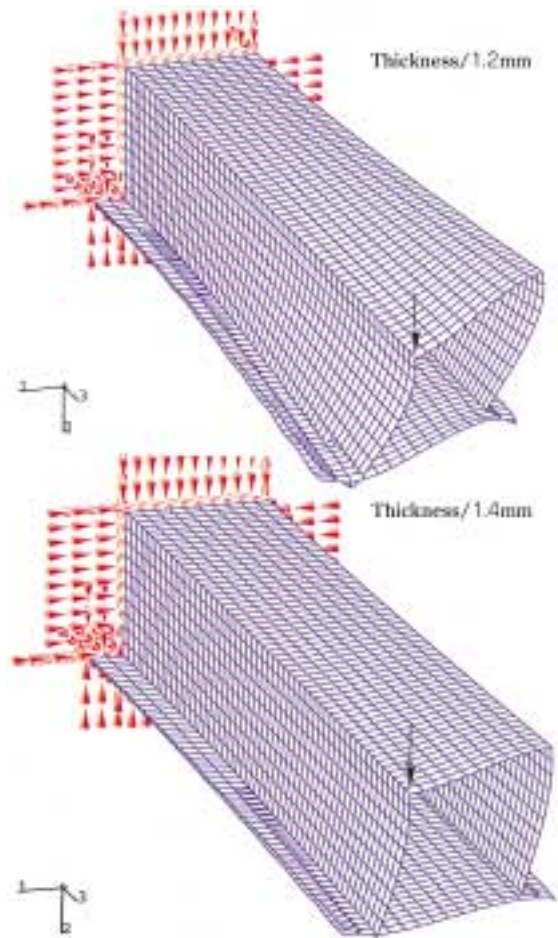
次に部品の評価シミュレーションについて紹介する。第5図に、剛性シミュレーションの一例を示す。変位を5倍に拡大してあるが、板厚減少によってハット型部材の剛性がいちじるしく低下している様子が表現されている。

第6図は衝突解析の一例で、590MPa 級鋼板製ハット型部材を衝突速度 50km/h で軸方向に圧壊した際の荷重-変位曲線の比較である。シミュレーションに使用する材料特性として高速引張り試験⁹⁾によってえられる応力-歪み曲線(歪み速度 1000/s)をもちい、加工硬化特性の歪み速度依存性を考慮することで、実験との良い一致を導くことができる。また試験体に生じるじゃばら状の連続的な座屈形状もシミュレーションで表現が可能であることがわかる。

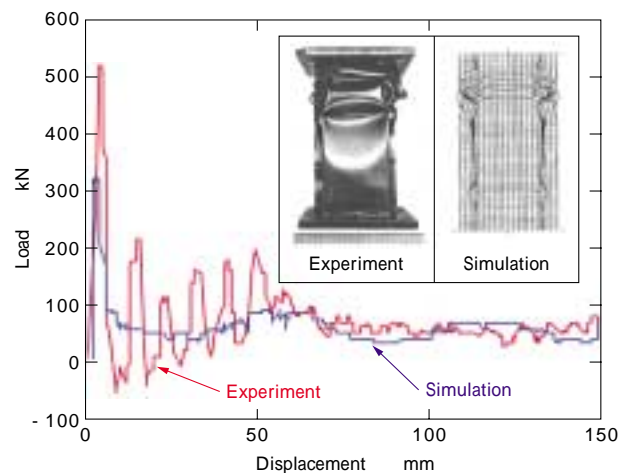
今後ともシミュレーションの重要性はますます増して



第4図 簡易成形シミュレーションの一例
Fig. 4 Example of simple forming simulation



第5図 ハット型部材の剛性解析シミュレーションの一例
Fig. 5 Example of rigidity simulation of closed hat channel part



第6図 ハット型部材の衝突解析の一例
Fig. 6 Example of crash simulation of closed hat channel part

いくものと考えられ、さらに信頼性を上げるためにも新しく開発されるハイテン材の材料特性値をデータベース化し、精度を高めていく努力が不可欠である。

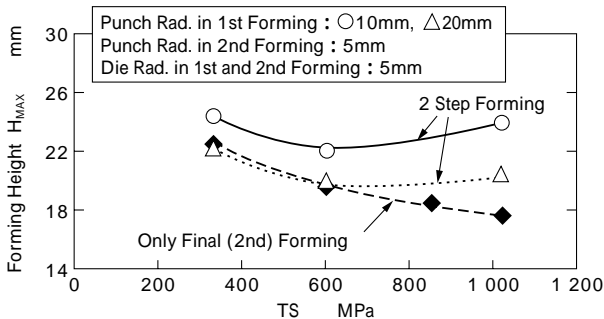
2.2 プレス加工技術

ハイテン材はその加工性が従来の軟鋼材にくらべて劣ることから、そのプレス加工においても様々な工夫が提唱されている。当社もハイテン材を使用されるユーザに対し独特な加工技術を提案してきている。

2.2.1 破断限界向上対策

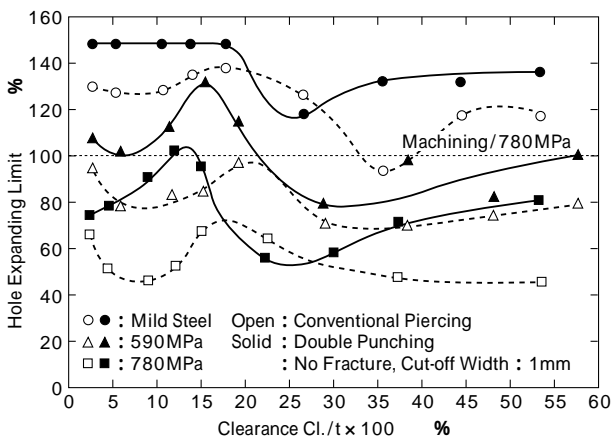
ハイテン材の低い延性を最大限に活用するには、変形をパンチ底全体に行きわたらせることが重要である。しかし、材料強度が上昇するほど歪み伝ば性の指標である n 値は低下するため、成形条件によって補う必要がある。たとえば第7図に示すように2山チャンネル成形の場合は成形を複数工程とし、1工程と2工程のパンチ肩 R を変化させて歪みの分散をおこなえば、980 MPa 級鋼板であっても軟鋼と同等の成形高さをえることができる¹⁰⁾。

いっぽう、伸びフランジ成形に関しては2回打ち抜き技術が有効である。1次と2次の打ち抜きクリアランスを適正化することで、1次打ち抜きで生じた硬化層を2次打ち抜きですべて除去して新たに強度の低い硬化層を破面に作り上げる。この技術により第8図¹¹⁾に示すように780MPa 級鋼板においても切削加工(同図中の \square = 100% の点線)に匹敵する優れた穴広がり特性(同図中 \blacksquare 印のクリアランス = 10~15% 近傍)がえられることがわかる。



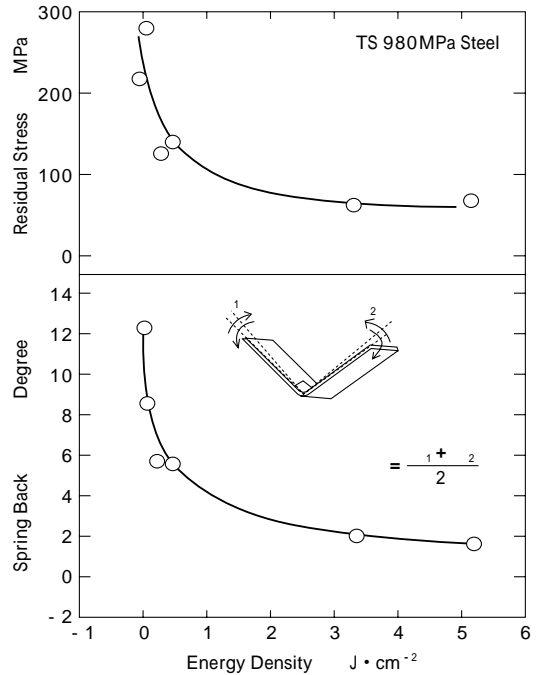
第7図 成形高さに及ぼす2工程成形の効果

Fig. 7 Effect of 2 step forming on forming height



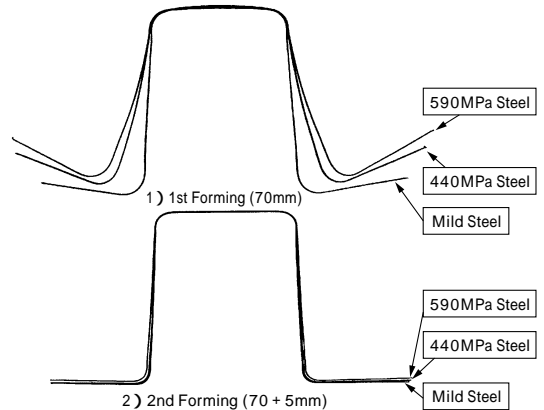
第8図 限界穴広がり率()に及ぼす金型クリアランス ($Cl./t \times 100$) の影響

Fig. 8 Effect of clearance ($Cl./t \times 100$) on hole expanding limit ()



第9図 スプリングバック量()と残量応力に及ぼすエネルギー密度の影響

Fig. 9 Effect of energy density on spring back () and residual stress



第10図 寸法精度に及ぼす2段成形の効果

Fig. 10 Effect of 2 step forming on dimensional precision

2.2.2 寸法精度改善

寸法精度不良としては、曲げ成形での角度変化や絞り成形での壁反りなどがあり、材料強度が高いほど問題は深刻である。対策として成形下死点における残留応力の制御があり、以下に改善事例を紹介する。

曲げ成形における角度変化は曲げ線の内側と外側に生じる異符号の残留応力が離型時に弾性回復することから生じる。第9図¹³⁾は980MPa 級鋼板のV曲げ成形における下死点にて、曲げ稜線部の角度変化を低減するためのレーザー照射をおこなったときの離型後のスプリングバック量()と、曲げ線外側の曲げ線に直角方向の残留応力に及ぼすレーザーのエネルギー密度の影響を示したものである。エネルギー密度が高い場合、発生する熱によって曲げ稜線部分の残留応力をいちじるしく低減できるため角度変化を改善することが可能である。

ハット形状部品の壁反りは第10図にその断面形状の変化を示すように、2段成形法によって改善が可能である。これは壁部に1%程度の伸び歪みを付与しながら1

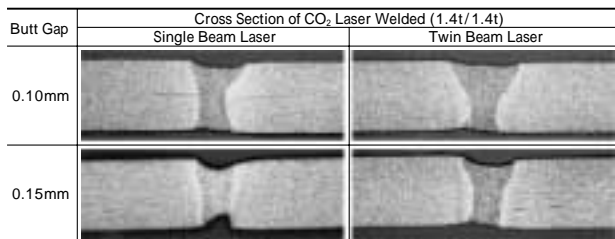


写真1 等厚溶接におけるレーザービーム種の影響 (1.4t/1.4t)
Photo 1 Effect of laser beam method in same thickness welding (1.4t/1.4t)

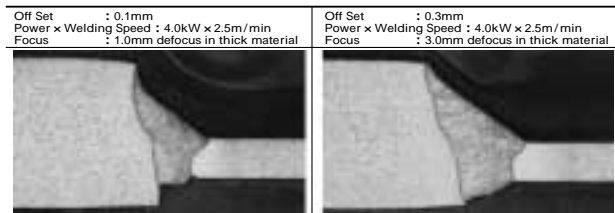


写真2 差厚溶接におけるレーザービーム条件の影響
Photo 2 Effect of laser beam condition in difference thickness welding (2.6t/0.7t)

段目よりわずかに深く2段目の成形をおこなうことで、引張りによる破断の心配も少なく安定して縦壁部の角度変化と反り量を低減できる技術である。

2.3 テーラードブランク

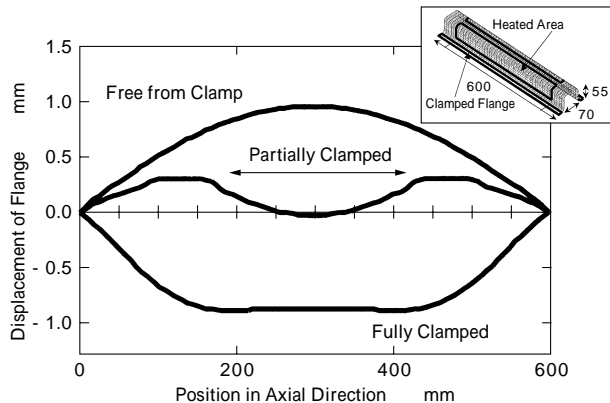
これまでアウトパネルの材料歩留まりや組立て精度の向上が主目的であったテーラードブランク技術が近年、材料の適材適所使用によるコストダウンや車体の軽量化までを目指して拡大する傾向にある。とくにハイテン化の流れのなかで、従来のめっき・非めっき材あるいは差厚材の使い分けにとどまらず、材料の加工性を考慮して部品内の成形難易度が異なる各部位に強度が異なる材料(差強度材)を使い分ける技術の検討が進んでいる。接合方法もレーザーやマッシュシーム、さらにはプラズマ、スポット溶接など種々の溶接技術が検討されているが、接合面品質の観点からはレーザー結合が優れており現在主流となっている。

当社は1999年に炭酸ガスレーザー加工機を導入し、接合技術の検討、改善を進めてきた。たとえばレーザーによる端面接合では写真1に示すように等厚材の肉やせの問題があるが、レーザービームを二つに分けて溶融範囲を広げるツインビーム溶接を採用することでかなりの改善効果が期待できる。またプレス成形時の不具合防止の観点から差厚材結合部の段差形状を適正化する必要があるが、写真2に示すようにオフセット量やレーザー焦点位置など溶接条件での工夫によって制御することが可能である。

今後の課題としては、成分元素量の多いハイテン材が結合素材として多用されるのにもない、材料と施工法両面からの溶接ビード部、熱影響部の硬さ制御やシミュレーションの活用による部材内での最適な接合位置の検討が必要である。

2.4 焼入れ硬化技術

成形時は比較的低強度で、成形後に焼入れをおこない980MPaを超える部材強度に変化させる技術がすでに一



第11図 焼入れ処理後のフランジ変位量に及ぼす拘束の影響
Fig. 11 Effect of clamp on displacement of flange after quench hardened

部実用化されている¹³⁾。焼入れ後の強度に影響する因子としては、成分はもちろんのこと冷却速度が重要であり、さらにめっき材の場合はめっき層を焼入れ後に残存させるために加熱温度の制御も必要となる。当社は水冷タイプの440MPa級冷延鋼板と440MPa級GA鋼板を開発したが、適用拡大のためには熱処理時の部材の焼入れ歪み(部材の変形)を制御する技術開発が必要である。第11図に示すように、熱処理時の拘束条件や熱処理領域を制御することで部材の変形量を抑えることが可能になっているが、さらに変形量を最小化すべく検討を進めている。

むすび = 燃費向上に向けて自動車車体へのハイテン適用が拡大されていくなかで、材料開発と並行して加工技術、利用技術の一層の高度化が急務である。今後ともハイテン化部品の実用化を自動車メーカ、部品メーカと協力して推進し環境保全に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 中屋道治ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.50, No.1(2000) p.75.
- 2) Kenichi Watanabe et al.：(社)自動車技術会，学術講演大会前刷集，No.82-00(2000) p.25.
- 3) Jody Show et al.：(社)自動車技術会，学術講演大会前刷集，No.82-00(2000) p.26.
- 4) 田中福輝ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.42, No.1(1992) p.20.
- 5) 岩谷二郎ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.47, No.2(1997) p.42.
- 6) 矢野裕司ほか：TOYOTA Technical Review，Vol.49, No.2(1999) p.94.
- 7) 荒井 昭ほか：日産技報，No.47，(2000-6) p.14.
- 8) 森 常治ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.42, No.1(1992) p.33.
- 9) 渡辺憲一：第48回塑性加工連合講演会講演論文集，(1997) p.257.
- 10) 岩谷二郎ほか：第36回塑性加工連合講演会講演論文集(1985) p.309.
- 11) 岩谷二郎ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.47, No.2(1997) p.33.
- 12) 岩谷二郎ほか：塑性と加工 Vol.35, No.404(1994) p.1122.
- 13) 柴田眞志ほか：まてりあ，Vol.37, No.6(1998) p.525.