

過酷な使用環境に耐える品質を追求 鋼管 (3)

鋼管は、前回まで紹介したエネルギー分野で使われる油井管やラインパイプ、水道管やガス管など内部に流体を流す用途だけではなく、中空形状の高剛性・軽量メリットを活かして、自動車や建設機械、建築・土木などさまざまな分野の構造体を構成する部材として広く活躍している。本シリーズの最終回では、鋼管製造後に複雑な成形が施される自動車部材用鋼管にスポットを当て、鋼管の利用加工技術の最先端を紹介するとともに、今後の鋼管に対するニーズや技術開発の方向性を展望する。

多様な形状に成形される自動車部材用鋼管

構造材として使われる鋼管は、一般的に大径・中径管が建設機械や建築・土木分野（例：杭やポール）などで使用され、小径管（径が約12cm以下）の多くは自動車の構造部材として利用されている（図1）。自動車部材用鋼管は、厚肉材にシームレス管が採用される場合もあるが、幅広く使われているのは、比較的薄手で肉厚精度が高く廉価な電縫鋼管だ。ラインパイプ用電縫鋼管との違いは、自動車部材では表面の美しさが重視されるケースが多く、熱延鋼板の表面に付着しているスケール（酸化物）を酸洗した材料が使われる点にある。

鋼管が使用される自動車部材は内部に流体が通る排気系と、ドアインパクトビームや足回り部材などの構造体に大別される。いずれにせよ車体の限られたスペースに部材を設置しなければならないこともあり、自動車メーカーや部品メーカーで曲げ加工を中心に、拡管、扁平（潰し）、口絞りなどの二次加工が施されることが大きな特徴だ（図2）。最近では部材形状の複雑化に伴い、一つの部材に対して、曲げ加工と口絞り、拡管といった複合的な成形を施すケースも増えている。

また近年、自動車部品の高強度化による軽量化や、安

鋼管が使われる自動車部材

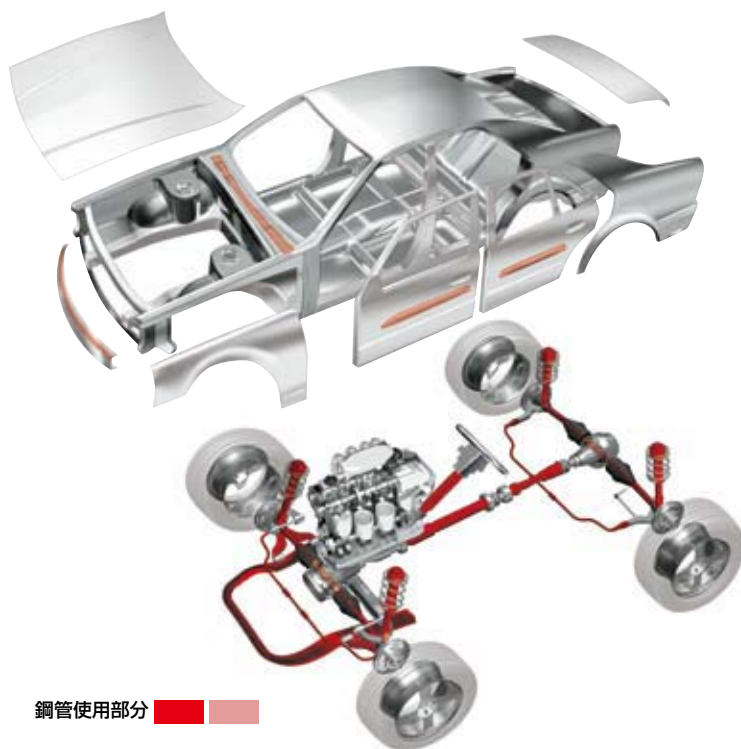
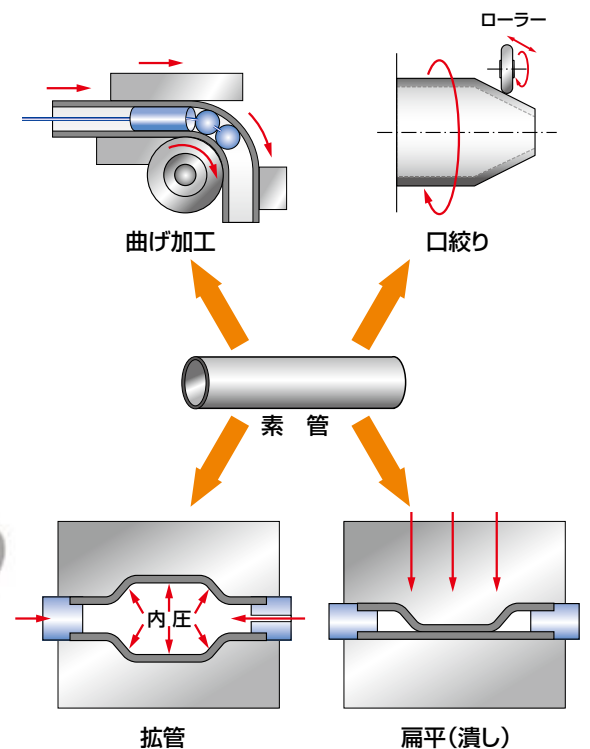


図1 鋼管の基本的な利用加工の種類 図2



全性、コストパフォーマンスの向上が求められる中で、中空で剛性が高いという特徴を活かし、従来は棒鋼だったものを鋼管に替える、あるいは重量や工程の増加につながる鋼板同士の接合部の削減を狙って鋼管を使用して部材を一体成形するなど、鋼管の活躍の場が広がり、それとともに高度な成形が要求されるようになってきた。

鋼管利用の可能性を広げる成形技術「ハイドロフォーム」

こうしたニーズの高度化に応える成形法として、約15年前から注目を集め、現在導入が加速化している技術が「ハイドロフォーム」だ。

鋼材に限らず金属の成形では、成形後どのように変形しても材料自体の体積が変わることはない。例えば、鋼板を圧延すると長さは伸びるが、板厚が薄くなるため体積は同じだ。ハイドロフォームはそうした原理に基づき、金型にセットした鋼管内に水圧をかけて膨らませて伸ばすと同時に、肉厚が薄くならないように鋼管を長さ方向で圧縮（軸押し）して成形する技術で、成形後に鋼管は短くなるが減肉量を少なくできるため、大きな変形により複雑な形状を生み出すことができる（図3）。鋼管の強度特性を活かして部材の薄肉化を可能にするとともに、複数の部

品を接合して製造していた部材を一体成形できることから、接合用の端部（フランジ）がなくなり、軽量化と部品点数の削減、工程省略を実現する。同技術の実用化により、車体のフレーム部や排気系部材などの形状バリエーションは飛躍的に広がり、自動車部材の鋼管化が加速した（写真1）。

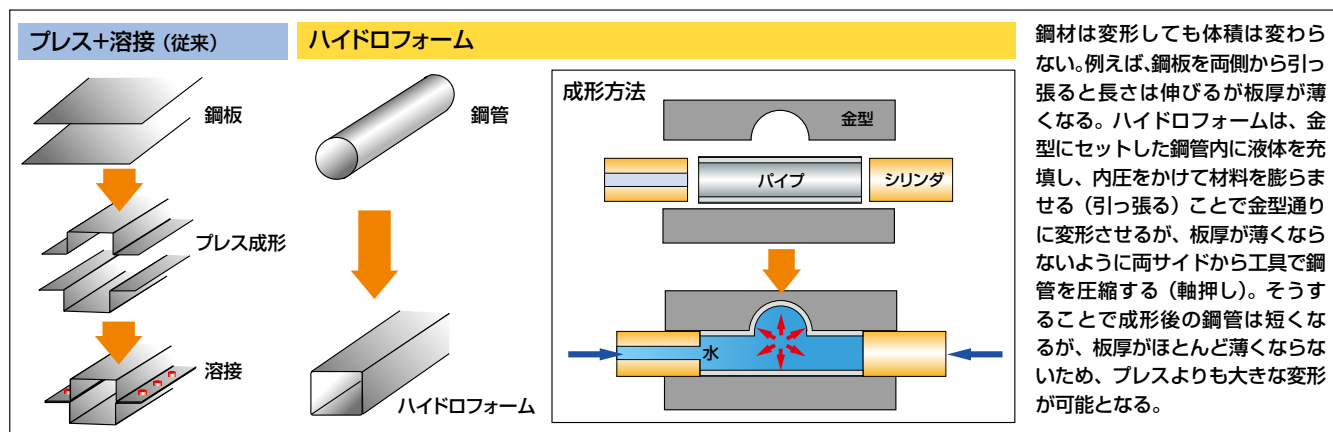
ハイドロフォームの原型はT型の継手を成形する際に使用されるバルジ加工という油圧成形技術だ。約50年前に日本（名古屋工業技術試験所）で生まれ、当初は配管継手や自転車用部品の成形に使われていた。1994年から始まった自動車軽量化ニーズに対応する「ULSABプロジェクト」※1の中で、新たなハイドロフォーム技術として精力的に研究が進められたのを契機に、欧米で自動車部材の成形技術として実用化された。

その後、1990年代後半に日本でも自動車部材の成形技術として採用されるようになった。日本での実用化が遅れた理由は、欧米に比べ日本のプレス成形技術が生産性や経済性に優れていたため、同技術導入の必要性が少なかったことにある。しかし新日鉄では、ULSABプロジェクトを機に、車体軽量化ニーズが高まる中で軽量化を極限まで追求するツールとして、1998年、ドイツからハイドロフォーム装置を導入し、同技術のさらなる進化と普及を目指す技術開発に取り組んだ。

ハイドロフォームの普及に向けて高いハードルとなった

ハイドロフォームの原理

図 3



ハイドロフォームによる成形部材

写真 1



※ 1 ULSAB: Ultra Light Steel Auto Body。1994年から4年間、世界18カ国の鉄鋼メーカー35社が集結して材料・設計の両面から鋼製の超軽量ボディを追求したプロジェクト。

のが大型で高価な加工装置だ。新日鉄ではトヨタ自動車(株)と共同で装置の小型化に取り組み、2001年にコスト削減、部品組立・溶接ラインへの組み込み(生産性向上)を実現する「コンパクト hidroフォーム装置」(容積は従

来比10分の1)を開発した(図4)。小型化のポイントは、厚さ50mmの高強度鋼板を成形部材の長手方向に重ねて並べる積層C型フレームを開発し、成形圧力によって開こうとする金型を押さえる構造を考案したことにある。

コンパクト hidroフォーム装置開発のポイント

図4

従来装置 → **コンパクト hidroフォーム装置**
容積比、消費エネルギー比ともに **従来比 1/10**

6m
3m
2.3m

金型開閉シリンダ
型締めシリンダ
金型開閉時
成形/型締め時

①必要な機能を整理
hidroフォームに必要な機能を「金型開閉機構：大ストローク動作 × 軽負荷」と「金型保持(型締め)機構：小ストローク動作 × 重負荷」の2つに整理し、それぞれの機能を最適化することでコンパクト化および省エネルギー化を図った。

②積層C型フレーム構造
hidroフォームでは成形中に鋼管内に高い水圧をかけるため、金型が開く方向に巨大な力が発生する。この巨大な力に対抗する高強度な装置構造が必要となるが、従来の装置では大型の油圧プレス装置を流用していたため、設備が大型化していた。そこで厚さ50mmの高張力厚板「WEL-TEN780」(通常の2倍の疲労強度)を、製品長手方向に重ねて並べる積層C型フレーム構造を考案・採用した。

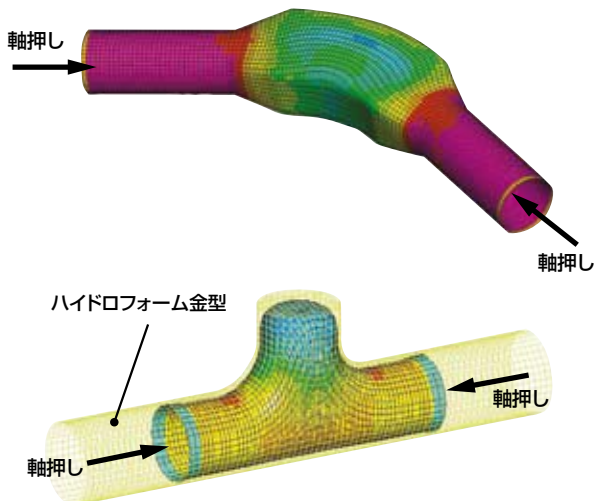
③セルフロック機構
型締めの巨大な力を発生させるため、小径・短ストロークで超高圧化、大出力化したシリンダを複数個配置するシステムを考案・採用した。加えて、このシリンダの駆動用圧力源として成形用水圧力を導入することで、成形中の金型開き力に対し型締め力を自ら自然に調整できるものとなっている。

FEMの解析画面例

図5

新成形技術を用いて加工した hidroフォームサンプル

写真2



材料選定と部材形状を最適化するソリューション技術

ハイドロフォームでは、使用する鋼管（電縫鋼管）の選定と最適な部材形状、加工条件の設定がポイントとなる。まず材料となる鋼管については、自動車メーカーでの材料調達の容易さからJIS規格の範囲内で対応しているが、新日鉄では、自社導入した試験機で加工硬化率（n値）や深絞り性（r値）などの材料特性の影響を検証し、溶接部の信頼性を含めて部材形状や成形条件に適合する鋼管の選定や造り込みの管理をしている。例えば、ハイドロフォーム成形時の大きな伸びを確保するために、電縫鋼管の製造プロセスにおいて、熱延鋼板から鋼管への成形時の歪を最小化するなど、鋼管の造り込み条件を微調整しており、JIS規格のスペックでは表せない優れた特性を追求している。

一方、伸び（拡張）と圧縮（軸押し）の力が加わるハイドロフォーム成形では、水圧や軸押しのタイミングを誤ると材料の薄肉化や割れ、座屈などが起こるため、最適な部材形状と加工条件について成形時に複合的な制御を実施している。制御すべきパラメータが多いにもかかわらず、外からは見えない密閉された金型内部で変形が進行する設備仕様上、適切な条件を見出すのが難しく、また、成形後の部材形状や金型と材料の潤滑、溶接部の位置によってもその制御条件は変化する。

そうした複雑な制御条件の設定において威力を発揮するのが「FEM（有限要素法）」※2による解析技術だ。形状や成形時の圧力数値などのデータを入力して鋼管の変形

形状や応力・歪を事前に検証することで適切な加工条件を設定している。材料として狙った形状にきちんと加工できるか、また加工するための水圧、軸押し条件をいかに設定するかなどをシミュレーションして導き出すとともに、自社の試験機を使った実証試験でその特性を確認している（図5）。

新日鉄の強みは、長年培った数値解析技術と、いち早く導入したハイドロフォーム装置での実証試験の両輪でお客様の部材開発に踏み込んだソリューションを提供できることにある。

現在では、こうしたソリューション技術を駆使して、拡張率の大きい高難度な形状を実現する加工条件や、他部材との新たな接合方法などの研究を独自に進め（開発技術は特許出願済み）、ハイドロフォームの適用部材の拡大を図っている（写真2）。

新日鉄では将来的に、自動車部材におけるハイドロフォーム成形を一つのモデルケースとして、自動車以外の分野などでの鋼管の利用加工技術開発にも取り組み、構造部材としての鋼管の可能性をさらに広げていく。

監修 技術開発本部鉄鋼研究所 加工技術研究開発センター
成形技術総括 主幹研究員 工学博士
水村 正昭（みずむら・まさあき）

プロフィール
1963年生まれ 東京都出身
1986年入社
以後、鋼管の利用加工技術や製造技術に従事、
直近は、薄板も含めて自動車用鋼材の利用加工の研究開発に従事
2004年 日本塑性加工学会 論文賞
2006年 工学博士（東京大学）



鋼管の一貫メーカーとして、品質向上と用途拡大を目指す

技術開発本部鉄鋼研究所 鋼材第二研究部鋼管総括 主幹研究員 工学博士 朝日 均（あさひ・ひとし）

鋼管は今回のシリーズで紹介したように、内部に流体を流して使用する用途、軽量化や部材点数削減の目的で構造体として使用する用途を中心に幅広く使われています。また、鋼管はハイエンドの鉄鋼製品であるとともに、特にラインパイプでは大量生産が求められる品種です。高級鋼材を効率良く大量に提供するためには、製造プロセスの高度化が不可欠ですが、鋼材特性を高めるために添加する高価な合金を減らし、徹底的に製造プロセスの中で品質を造り込む挑戦が日夜展開されています。さらに、鋼管は鉄を製造するだけではなく、成形や溶接までを含めた構造体が製品となるため、材料開発・加工成形・溶接といった総合的な知見が必要な分野です。新日鉄の強みは、その技術要素の相関の中で最適な品質を提供できることにあります。さらに、最終製品に近い製品であるため、昔

からお客様との共同研究や技術交流が盛んで、ニーズを早くとらえ、ニーズを掘り起こすことができる技術力を磨いてきました。

鋼管の今後の方向性としては、まず石油から天然ガスへ移行するエネルギー分野では、高圧輸送、極地利用に耐える鋼材品質のさらなる向上が進み、一方、構造部材では、高強度・軽量化などのメリットを活かして、さまざまな分野で他素材からの置き換えを促す利用加工技術開発が加速化していくものと思われます。現在、素材から鋼管を製造する一貫メーカーは、当社を含めて世界でも限られています。当社では今後も、ニーズをいち早くとらえ、材料開発と鋼管製造技術開発の両輪で、鋼管製品のさらなる進化を目指していきます。



※2 FEM：Finite Element Method。数値解析法の一つ。物体を小さな要素に分割し、それぞれの要素に負荷される力や変形の計算結果を足し合わせることで全体の挙動を近似値として求める手法。