

過酷な使用環境に耐える品質を追求 鋼管 (1)

エネルギー産業や自動車、建設機械、建築・土木など、社会を支えるさまざまな分野における基礎部材として不可欠な鋼管。鋼管製品は円柱型の鋼材(ビレット)の中央部を穿孔・圧延して穴を開ける「シームレス鋼管(※1)」と、鋼板を丸めて端部を接合する「溶接管」「鍛接管」に大別される。本企画では3回にわたり、現在最も需要が大きく、技術進歩が著しい溶接管にスポットを当て、その製造方法や用途、求められる特性、技術開発の最先端と今後の鋼管技術の方向性などを展望する。第1回目は、溶接管の製造方法や用途、求められる特性について紹介する。

溶接管の種類と多様な製造方法

通常、鉄鋼製品はめっきなどの表面処理を除くと、圧延が最終工程となるが、溶接管は鋼板を「成形」して最後に「溶接」を行い、「成形」と「溶接」が製品の一部となっている唯一の鋼材でまさしく構造体であるともいえる。主な溶接管には「スパイラル鋼管」「電縫鋼管」「UO鋼管」がある。

一つ目の「スパイラル鋼管」は、熱延鋼板をほどき、らせん状に巻きながら端部(シーム部)を「サブマーシアーク溶接(SAW)」(※2)した鋼管。製品径の大きさが、材料の熱延鋼板の板幅にあまり制約されないため、さまざまな大きさの管をつくることができ、製造設備も比較的小規模である(図2)。近年では、溶接速度の高速化が進んでいるほか、海外では鋼管を巻きながら仮付け溶接した後に本溶接することで生産性向上と溶接部の品質向上が図られている例もある。鋼管製造後、合成樹脂やポリエチレンで被覆して耐食性を高めたり、管側に継ぎ手を付けるなどの二次加工後出荷されることも多い。しかし、小径製品をつくる方法としては生産性が低い。

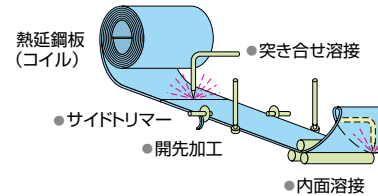
二つ目の「電縫鋼管」は、帯状の熱延鋼板を連続的に筒状に成形し、溶接材料を使用せずに母材の端部同士を「電

鋼管の種類

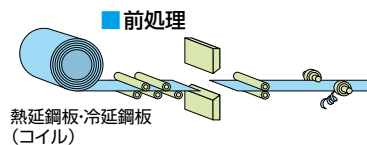
区分	製造可能寸法(外径:mm)						主な製造品種						
	40	200	500	1,000	2,000	3,000	各種配管用	ラインパイプ	油井用	一般構造用	水道用	機械構造用	鋼管杭
シームレス鋼管	□						●			●		●	
溶													
接							●	●		●	●		●
管													
電縫鋼管	□						●	●	●	●	●	●	●
鍛接鋼管	□						●			●			
TIG溶接鋼管	□						●					●	

図 1

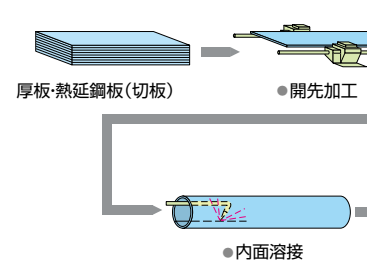
スパイラル鋼管の製造法



電縫鋼管の製造法



UO鋼管の製造法



※1 シームレス管：接合部(シーム)のない(レス)鋼管

※2 サブマーシアーク(潜弧)溶接：あらかじめ母材に散布した粒状のフラックスに電極ワイヤを送り込み、電気の放電現象(アーク放電)を利用して、ワイヤ先端と母材との間にアークを発生させて連続的につなぎ合わせる溶接法。

気抵抗溶接 (ERW) した鋼管。高周波電流の表皮効果(※4)と近接効果(※5)を巧妙に利用し、端部の突き合わせ面を効率的に加熱・溶接している。かつて電縫鋼管は溶接品質が低い低周波電流で溶接されていたが、1960年代に大容量の高周波電流による溶接法が登場し、溶接部の品質が飛躍的に向上した。製品径は熱延鋼板の幅で制約されるが(新日鉄では最大直径24インチ)(※6)、高速で連続的に製造できるので生産性が高い(図3)。

三つ目の「UO鋼管」は、その名の通り、厚板を「U」形に曲げた後、さらに「O」形に成形して、端部同士を仮付け溶接後、多電極のSAWで内外面両方から本溶接し、最後に内部から拡張管(エクспанション)した最も肉厚のある大径管だ(図4)。素材は厚板が主流だが中径製品には熱延鋼板の切り板が使用される場合もある。

新日鉄では、まず1960年に径の自由度が高いスパイラル鋼管の製造をスタートし、1970年にエネルギー分野向けラインパイプの厚手・大径化ニーズに応える形でUO鋼管の生産を開始した。一方、電縫鋼管は1945年に小径管の製造技術として導入し(直径14インチ以下の中径管は1958年)、自動車用部材をはじめとする構造材、油井管、ラインパイプとニーズの多様化に伴い径の製造範囲を広げてきた(図1)。

溶接管の多彩な用途と求められる特性

各溶接管の用途と求められる特性は多彩だ。「スパイラル鋼管」は、大径、長尺製品が製造できることを利用して、新日鉄では国内市場を中心に杭や柱など土木建築用部材として供給している(写真1)。海外製鉄メーカーではエネルギー向けの鋼管として、ガスよりも安全性のリスクが小さい石油輸送用を主にラインパイプとしても使用されている。小ロット多サイズにフレキシブルに対応可能な「つくりやすさ」と、塗装・被覆や継ぎ手の装着などを含めたユーザーでの「使いやすさ」が特徴だ。

「電縫鋼管」は、溶接品質の向上に伴い建築用部材、自動車の構造材、油井管、ラインパイプへと用途を広げてきた(写真2)。電縫鋼管の技術開発史は、低周波電流時代の低品質イメージの払拭と高速ラインでの品質安定化への挑戦史とも言える。新日鉄は溶接条件の最適化に地道に取り組み、現在は極めて高い特性と安全性が要求される海底パイプライン向けの出荷実績も増え、唯一、高強度で低温靱性に優れた高級電縫油井管を製造できる鋼管メーカーとしてお客様の信頼を勝ち取っている。また、

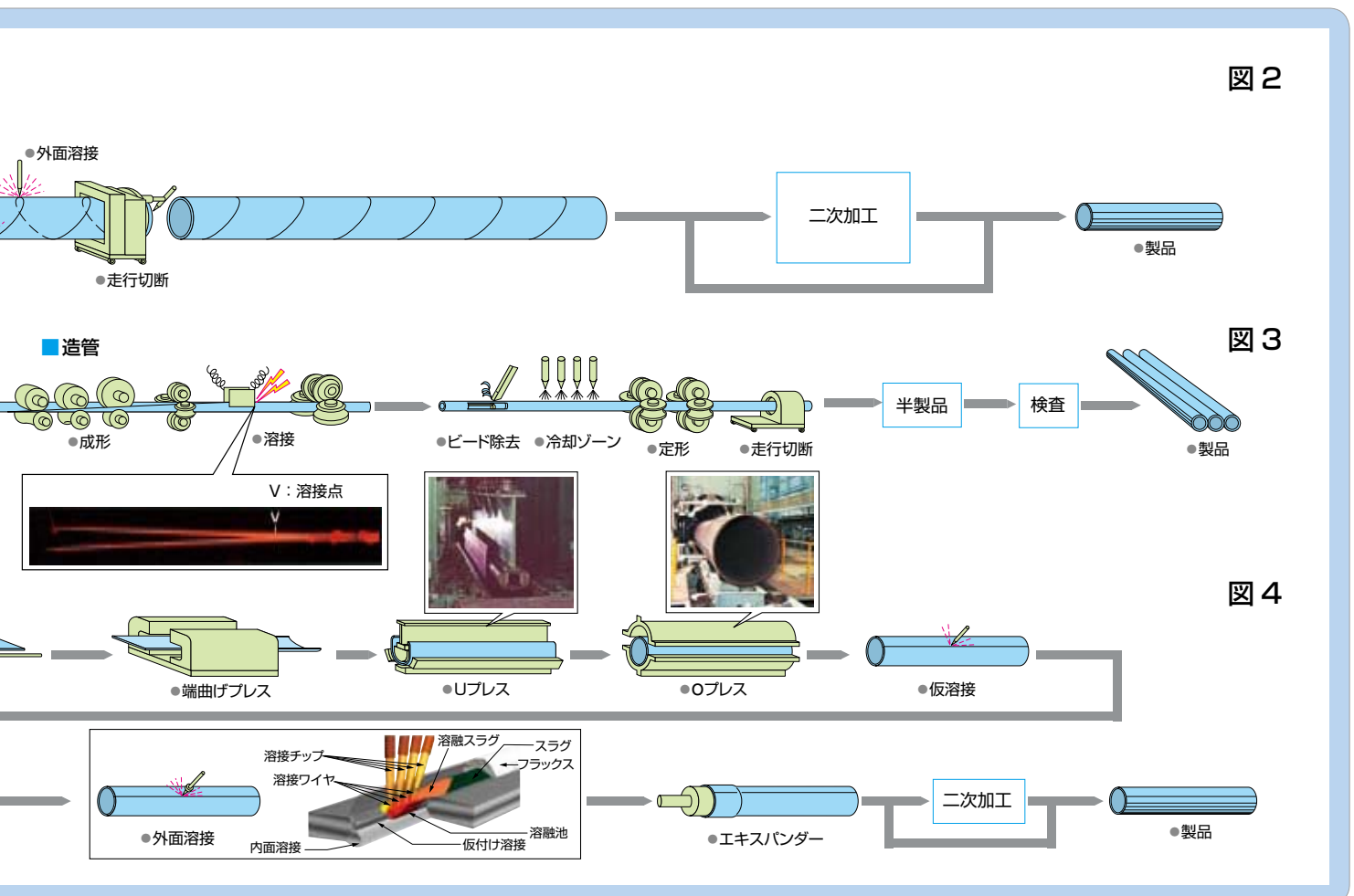


図2

図3

図4

※3 電気抵抗溶接：溶接する2枚の金属材料を接触させ、接触部を加圧しながら大電流を流して材料を局部的に溶融・接合する溶接法。
 ※4 表皮効果：高周波の電流が導体を流れるとき、電流が導体の表面付近に集中する現象。
 ※5 近接効果：高周波の電流が導体を流れるとき、近くに反対向きの電流があると、その電流の方向に引っ張られる現象。
 ※6 インチ：1インチは約2.54cm

薄手化が可能で肉厚精度も高い熱延・冷延鋼板から製管する特徴を活かし、自動車用構造材として適用部材に応じた多彩な板厚・径の製品を提供している(利用技術開発事例を第3回目に紹介)。

スパイラル鋼管や電縫鋼管が中空のまま主に構造材として使用されることがあるのに対して、「UO鋼管」は内部に気体や液体が流れる。その主な用途は海外を中心とする石油・天然ガス輸送用のラインパイプだ(写真3)。近年、豊富な資源埋蔵量やCO₂排出削減効果の観点から天然ガスの需要が急速に高まっているが、その主な生産地はシベリアやアラスカなど遠隔地であり、消費地との数千kmの長距離を結ぶ天然ガス用パイプラインが次々に計画、建設されている。そうした中で、液体(石油)ではなく気体(天然ガス)を大量かつ高速に長距離輸送するニーズが顕在化し、200気圧までもの高い内圧に耐える高強度のラインパイプが求められるようになった。逆に言えば、中空で「まるで空気を運んでいる」といわれる、運搬効率の低い大径UO鋼管は、運搬コストの高さを相殺する優れた特性(強度など)がなければ、需要地から遠く離れた新日鉄製は採用されにくい。

エネルギー分野の厳しい要求特性に応える

溶接管の中で特に技術革新が著しいのは、UO鋼管を中心とするラインパイプ用鋼管だ。この品種は基本的に各顧客ニーズに合わせた一品生産だが、エネルギーの長距

離、大量輸送ニーズに加えて、コスト削減の観点から材料の高強度化による薄肉化が求められている。また、極寒地などの過酷な使用環境に置かれるUO鋼管では高強度だけではなく、低温環境で低下する靱性(粘り強さ)の維持が求められる。一般的に、鋼材は強度を高めると低温靱性や延性、溶接性が低下する傾向があり、これらの特性を維持したままいかに強度を高めるかが技術的ハードルになってきた。新日鉄では母材となる厚板の高強度化の過程で、靱性を損なう炭素量を0.04%まで減らすとともに(普通鋼構造材0.1%)、割れや靱性低下の原因となる硫黄(S)を10ppm未満まで低減し、鋼板製造工程で組織微細化や複相化などの材料組織制御を行い、高強度化を図りながら、同時に高いレベルで靱性を維持している(図5)。

また、圧力の高いガスを輸送するラインパイプでは、弱い部分から亀裂が走り破断する危険性があるため、特に溶接部の強度・靱性の確保が不可欠だ。一般的に溶接材に使われる金属には鋼板以上の強度が求められるが、新日鉄では長年、鋼材開発の一環として溶接材料や溶接方法の研究開発に取り組み、溶接部の信頼性を含めた品質保証体制を確立している。溶接材料(溶接ワイヤ)の化学成分をはじめ、SAWで使用するフラックス(※7)の組成や電流、電圧のかけ方、母材との組み合わせ最適化などの基礎研究を自社の接合研究センターで行い、実際に使用する溶接材の製造はグループ企業である日鉄住金溶接工業(株)が行っている。

さらにパイプライン敷設時に起こるさまざまな現象への対応も重要だ。UO鋼管は敷設現場で鋼管同士を溶接す

スパイラル鋼管の施工例
写真1



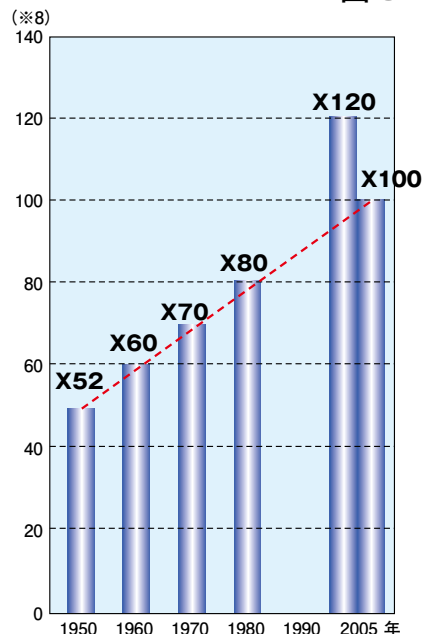
電縫鋼管(油井管)の施工例 写真2



UO鋼管(ラインパイプ)の施工例 写真3



ラインパイプの高強度化の進展
図5



※7 フラックス：溶接時に母材と溶接剤の酸化皮膜を除去し、加熱中の酸化を防止する溶接材料

※8 「X」は米国石油協会ラインパイプ規格の強度記号。数字は鋼管の降伏強度をksi(kilo pound square inch)単位で表したものの

るが、製鉄所での鋼管製造時に、パイプライン全長での真円度を維持するための緻密な形状制御を行うほか、サワーガス（※後述）輸送・極寒地での使用時に弱点となる、鋼管自体のシーム溶接部と鋼管同士の円周接合部とが重なるT字部分（Tクロス）の特性劣化を防ぐため、円周溶接時の材料の熱的変化を想定した材料制御を実施する。さらに、万一溶接部に起因する割れが生じた場合も、その亀裂が母材部ですぐに停止する抵抗力（アレスト性）を持たせている（図6）（具体的製品は第2回目で紹介）。

高級鋼材製造の設備技術力を高めた「耐サワー性」への挑戦

ここまで解説した鋼管における高強度・高靱性化への取り組みは、2007年5～7月号の本企画で紹介した「厚板の技術開発」(※9)と共通する点が多いが、エネルギー分野向けラインパイプ用製品独特の要求特性として、「サワー環境（湿潤硫化水素環境）」に対する耐久性（耐サワー性）が挙げられる。この特性は、1972年に起きたベルシャ湾での海底パイプラインの割れによる事故を機に注目されるようになり、新日鉄では長年、「耐サワー性」の向上を重要テーマとして新たな鋼管用材料開発に取り組んできた。

石油・ガスには腐食性物質「硫化水素（ H_2S ）」が含まれることが多い。そのため、 H_2S の作用により鋼板内に多量の水素が侵入し、圧延時に延伸された鋼中の非金属介在物（硫化マンガン（ MnS ）と鉄（ Fe ）との界面に水素ガスが貯まって膨らみ、鋼板が割れ始める「水素誘起割れ」を引

き起こす可能性がある。こうしたサワー環境下でも安定して使用できる鋼管へのニーズに応えるべく、新日鉄ではその対応製品として「耐サワーラインパイプ用鋼管」を開発・提供している。同鋼管では、水素誘起割れの原因となる鋼中の MnS の生成を抑制するため、製鋼工程で硫黄（ S ）含有量を限界値の10ppm以下まで低減（通常は30～100ppm）して純度を高め、さらに、カルシウム（ Ca ）を添加することにより残った微量の S を無害化（ CaS ）して、鋼材圧延時の非金属介在物の伸びを抑制している（図7）（写真4）。

また製造プロセスでは、連続铸造から圧延・冷却工程で緻密な制御を行い、耐水素誘起割れ特性の低下要因となる金属組織の不均質化を抑制している（写真5）。現在、高級鋼材製造全般で活用されているこうした最先端の設備技術は、鋼管製品の耐サワー対策への取り組みとともに進歩してきた側面がある。

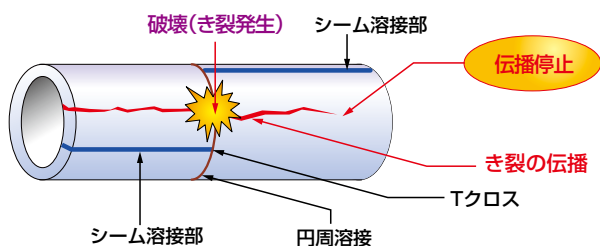
今回は、溶接鋼管の中でも、特に要求特性が厳格化するエネルギー分野向けに提供しているUO鋼管と電縫油井管の技術・製品開発の最先端を紹介する。

監修 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）

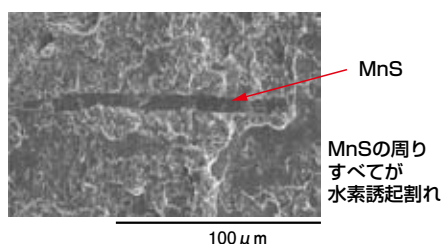
プロフィール
1956年生まれ大阪府出身
1981年入社
以後、鋼管商品、プロセスの研究開発、特に油井管、ラインパイプの商品開発に従事
1994年 工学博士（大阪大学）
2004年 英国金属学会 パナジウム賞
2009年 日本鉄鋼協会 西山記念賞



鋼管のアレスト性を示す図



MnS から水素誘起割れが発生していることを示す走査電子顕微鏡写真 写真4



加速冷却後の組織写真

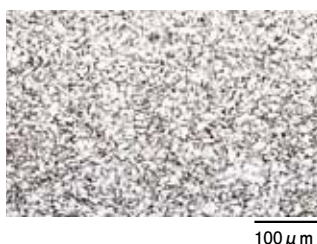
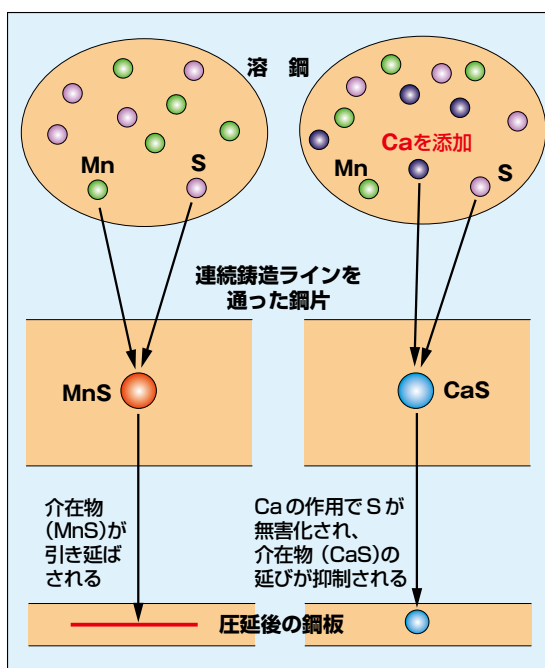


図6 MnSを無害化するメカニズム 図7



※9 HPでご覧頂けます。URLは http://www.nsc.co.jp/monthly/2007_all.html