



入門講座

鋼を接合するー2

溶 接

Welding Technology

中西保正

(株) IHI フェロー
技術開発本部 技監

Yasumasa Nakanishi

1 はじめに

「溶接・接合」技術は現在多くの構造物の製作に使用されている。溶接・接合の主な目的には、①素材・鋼材の大面积化・長大化、②立体化・密閉構造化、③強度の確保（引張強度、圧縮強度、座屈強度、曲げ剛性など）、④高機能化（性能・目的に応じた材料の組み合わせ）、⑤補修・補強などがある。

現在各種構造物の製作・建造において溶接は当たり前の技術であるが、溶接は古くて新しい技術である。溶接なしでは製作できない構造物が多々ある。また、溶接に必要とされる技術は材料、設計、力学、溶接プロセス、電気、機械、制御、非破壊評価など非常に多岐にわたり、専門技術者以外にはブラックボックスに見えるようである。本稿では、溶接の全体観、すなわち溶接の歴史、各種接合法との相違、溶接法の種類と適用対象などについて紹介する。

2 日本における溶接の歴史

日本で最初に大形構造物に溶接が適用されたのは大正後期であり¹⁾、図1に示すように同時期に海軍佐世保工廠と三菱重工で船舶に適用された²⁾。船体の強度部材への本格的な溶接の適用は昭和初期であり¹⁾、その様相を図2に示す^{3,4)}。溶接変形、溶接割れなど到大変苦労したほか、疲労き裂の問題

も生じた。これらは現在も主要な研究テーマである。なお、現在世界的に有名な造船のブロック建造は、昭和初期に考案された日本独自の工法である。鉄道への溶接適用も昭和初期であり¹⁾、図3に例を示す蒸気機関車は压力容器であるボイラ周りおよび車体が全溶接構造である¹⁾。橋梁、建築への適用も昭和初期である。その後、戦艦「大和」をはじめとした大型艦船、電気機関車車体・台枠、電車、潜水艦、クレーンなどに適用され、さらに、第二次世界大戦後には鋼材の高性能化・高品質化と併せて溶接技術は大きく発展し、貯槽（タンク）、ボイラ、ペンストック（水圧鉄管）、海洋構造物、原子力压力容器など溶接技術がないと製作できない各種構造物が製作されたことはいうまでもない⁵⁾。また、航空宇宙の主要部材にも溶接が適用されている。

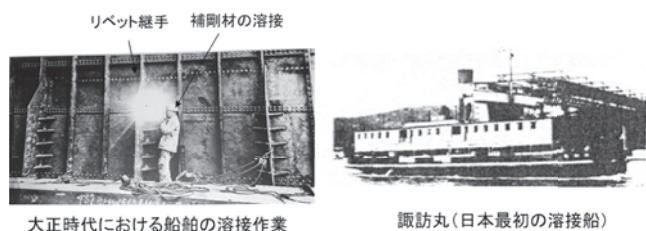


図1 大正時代の船舶の溶接（1920年代）

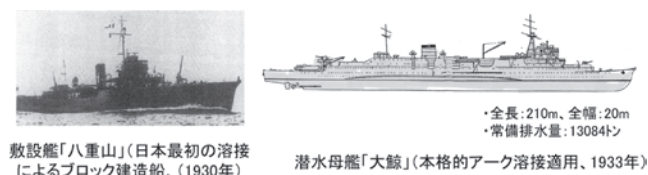


図2 船体構造への本格的アーク溶接適用（1930年～）



図3 蒸気機関車への最初の溶接適用(缶胴継手および車体、1930年～)

3 溶接と各種接合法との相違および特性

図4に溶接を含む各種接合法（リベット、ボルト、接着剤、ろう付）の断面の様相を示す。溶接とは、材料（金属）同士を溶かす（溶融させる）ことによりつなぐ（接合する）技術であるが、大形構造物では溶接技術が実用化されるまではリベット接合が主流であり、現在も一部で使われている。

図5に各種接合法の強度特性を⁶⁾、図6にろう付と接着剤の破断特性を示す。リベット継手は支圧接合であり、リベットの軸と母材に開けた孔の間の支圧によりせん断モードで荷重を伝達する。リベット継手はリベットの冷却・収縮による引張軸力が入るため摩擦力が生じるが、一般に高力ボルト継手や母材降伏点より低い荷重ですべりが生じる。最終強度はリベット材のせん断強度（リベット軸に対して直角方向の荷重モード）に依存するが、リベット継手は母材にリベット孔を開けるため、継手効率（継手強度／母材強度）は図中に示すようにリベット径とピッチとのかねあいでもまり、たかだか80%程度である。

高力ボルト接合は一見リベット接合と似ており支圧接合継手もあるが、一般にはボルトの軸力により生じた母材と添接板との間の摩擦力による摩擦接合継手であり、摩擦が切れて

滑り始めるすべり荷重が存在する。十分な締付力を与えた高力ボルト継手のすべり荷重は母材の降伏荷重と同程度かそれ以上であるが、最終継手効率はボルトが支圧により破断するか母材・添接板の有効断面で決まる。支圧ボルト接合の最終強度も同様である。

プラスチックの接着に使用するスチロール樹脂系接着剤は有機溶媒により接合面が融けて凝固するので、ある意味で溶接と同じである。金属にはエポキシ樹脂系接着剤などが使用されているが、有機溶媒で母材は融けず、接着剤は隙間に入り込んで固まるだけである。そのため、せん断には耐えられるが、直断面強度は劣る。

溶接とよく混同される接合法に「ろう付（はんだ付を含む）」がある。ろう材に「はんだ」（半田、Zn-Pb合金）を使用する場合には、とくに「はんだ（半田）付」と称される。ろう付は広義の溶接であるが、接着に分類されることもある。ろう付は接合面にろう材をはさみ、加熱してろう材を溶融させて接合を行う。被接合部材間にはろう材が溶融・凝固しただけであり、接着剤同様にせん断には耐えられるが直断面強度は劣る。

一方、「材料同士を溶融させて接合する」溶接は接合界面の

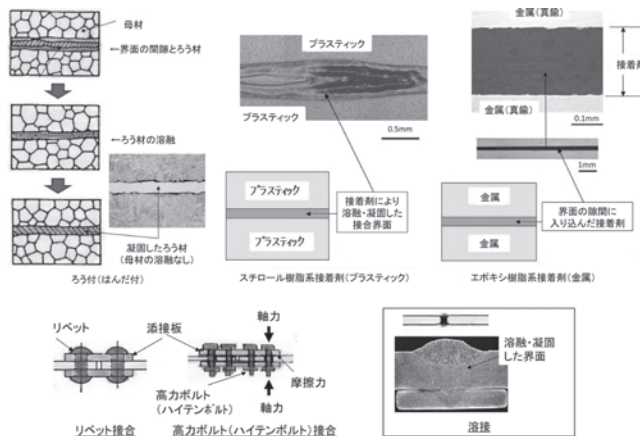


図4 溶接を含む各種接合法（リベット、ボルト、接着剤、ろう付）の断面の様相

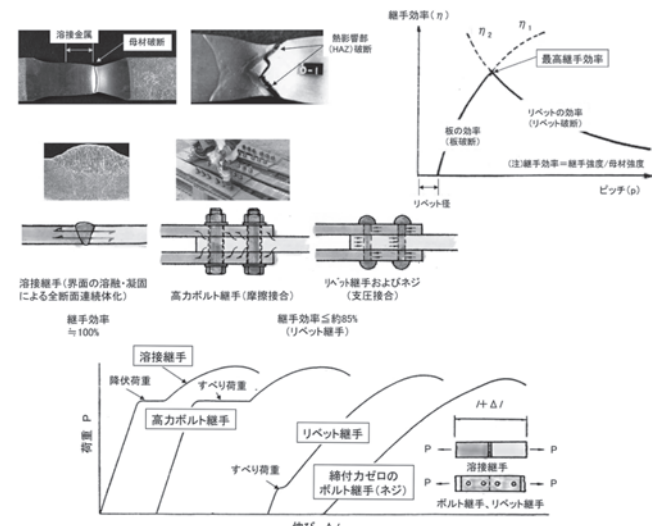


図5 各種接合法の強度特性

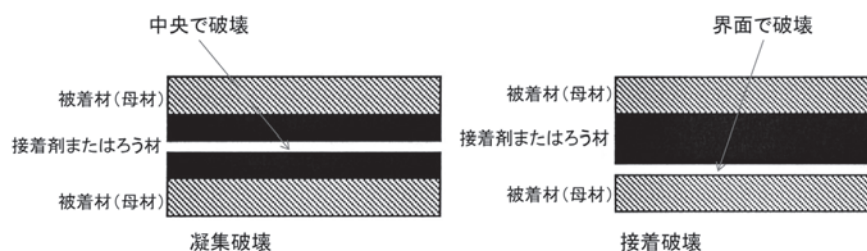


図6 ろう付と接着剤の破断特性

溶融・凝固による全断面連続体化であり、適正な条件で施工を行った溶接継手は板厚に関係なしに母材と同等の直断面強度（継手効率＝100%）が得られる。

しかし、適正条件で溶接施工を行わないと、図7に例示す溶接欠陥^{7,8)}が生じ、所定の継手強度が得られない。また、図8に例を示す溶接割れ^{7,8)}が生じることもあり、継手強度が低下する。

低温環境などで母材（鋼材）のじん性が低い場合や、溶接熱影響により溶接部のじん性が低下していると、降伏点以下の低応力で図9に例を示すぜい性破壊が生じることがあり⁹⁾、注意を要する。高温で長時間使用する場合には、図10に例を示すクリープ損傷¹⁰⁾を防止するため許容応力は常温強度に対して低く抑えられる。また、繰り返し応力を受ける溶接継手は、図11に例を示す疲労損傷⁷⁾を防止するため許容応力は降伏点より低い。さらに、使用環境によっては、図12に例

を示す応力腐食割れ⁷⁾ほかなどの損傷が生じることがある。使用中の損傷に対しても溶接施工条件の影響は大きい。これらの詳細については、溶接継手の強度に関しては他の文献・資料を参照されたい。

4 溶接方法の種類と適用事例

図13に、エネルギーにより分類した溶接法の種類を示す。溶接法には非常に多くの種類があり材質、品質、能率、コストなどから適した溶接法を選定する。今回のシリーズでは熔融溶接・アーク溶接、レーザ溶接、摩擦攪拌溶接、抵抗スポット溶接に関してメカニズムも含めた詳細な紹介があるため、ここでは適用状況を中心に概略を紹介する。略称はAWS（アメリカ溶接協会）に従った。

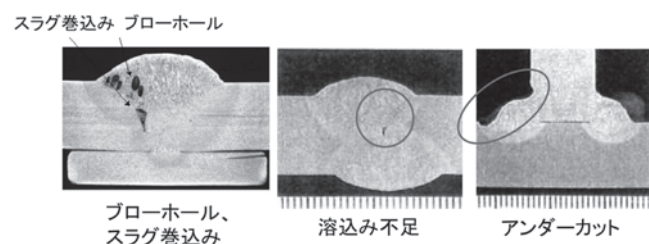


図7 継手強度に影響を及ぼす溶接欠陥の例

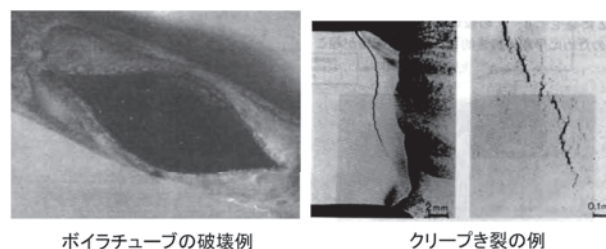
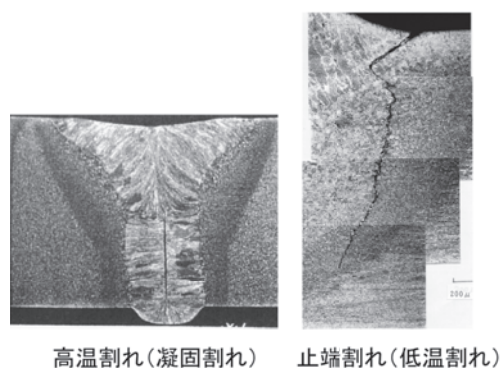


図10 クリープ損傷の例（ボイラ）



高温割れ(凝固割れ) 止端割れ(低温割れ)

図8 継手強度に影響を及ぼす溶接割れの例

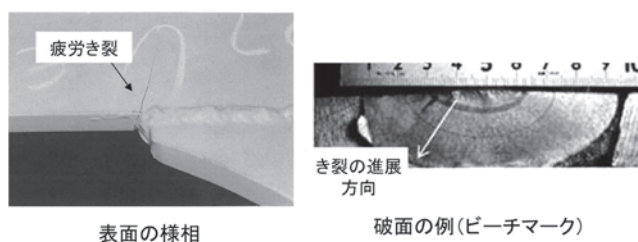


図11 疲労損傷の例

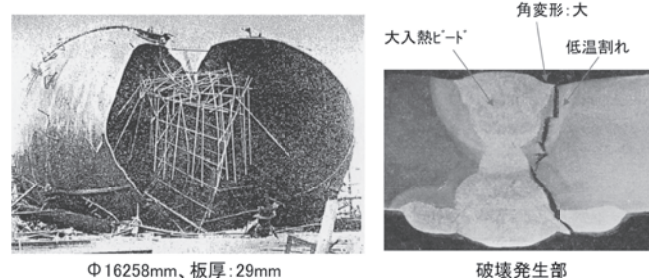


図9 ぜい性破壊の例（780MPa 級高張力鋼製球形タンク、1968年）

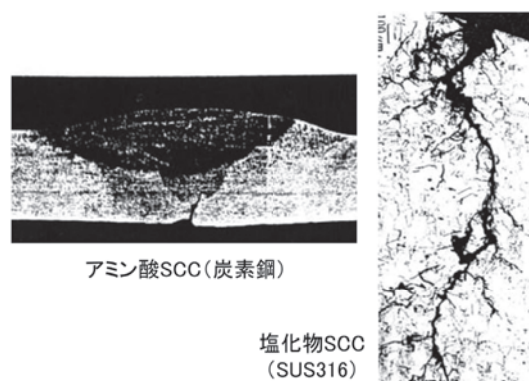


図12 応力腐食割れの例

4.1 被覆アーク溶接法 (SMAW)

SMAW (Shield Metal Arc Welding) では溶接棒に塗布した被覆剤の役割は重要であり、図14に示すように発生させたガスによるアークおよび溶融金属の大気からの保護、溶融金属の脱酸精錬、溶接金属への合金元素の添加、生成したスラグによる大気からの溶融金属の保護などが挙げられる。

図15にSMAWの適用例を示す。日本では時代遅れとされる溶接法であり、後述の半自動溶接 (とくに、CO₂溶接) に置き換えられた。しかし、海外のパイプライン¹¹⁾やLNGタンク⁷⁾のような辺鄙な場所における現場溶接では、シールドガス (後述) が不要であるため、海外ではまだ多く使用されている。レールの現場溶接に使用させる「エンクローズド溶接」も一種であり^{12,13)}。溶接箇所の周囲を水冷銅当金で囲い、内部を溶接で盛り上げる。球形タンクも屋外で溶接作業を行うため、風に強い被覆アーク溶接が用いられてきた⁷⁾。

4.2 サブマージアーク溶接 (SAW)

SAW (Submerged Arc Welding) は図16に示すように母材上にあらかじめ散布した粉粒状フラックスのなかに電極ワイヤを送り込み、アークを発生させて溶接を行う。シールド効果はフラックスで得ており、アークがフラックス内で発生して見えないため潜弧溶接とも呼ばれる。ワイヤを自動送給すると同時に走行台車により自動走行するため、最初の本格的自動溶接として知られる。本溶接法は大電流が使用できるほか、多電極化により溶着量を増加させられるため、SMAWと比較して厚板を少ないソパス数で片面自動溶接ができる高能率施工法となる。

図17にSAWの圧力容器と橋梁における適用例を示す⁷⁾ほか。図に示した例のほかに、船舶、建築鉄骨 (ボックス柱)、タンク、ペンストックなど多くの構造物に適用されている。

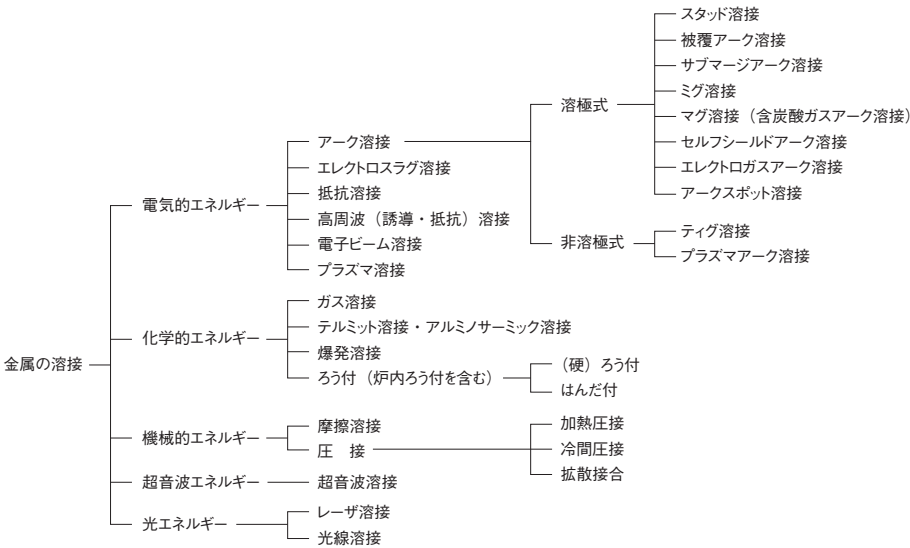


図13 エネルギーにより分類した溶接法

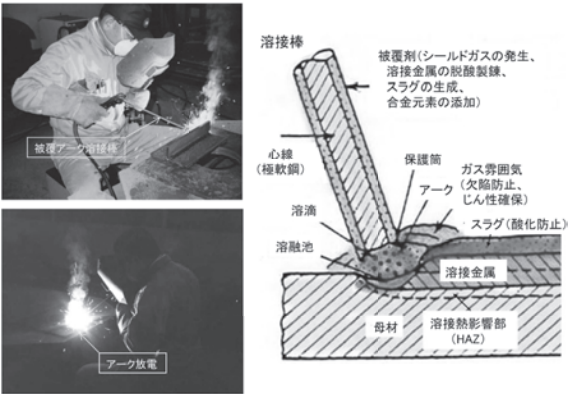


図14 被覆アーク溶接法 (SMAW)

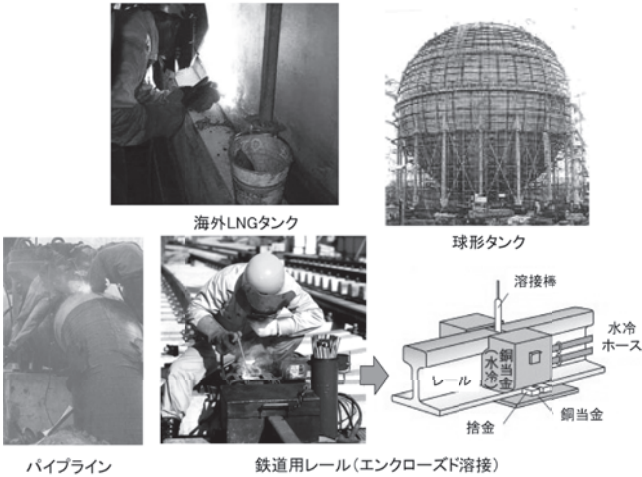


図15 被覆アーク溶接 (SMAW) の適用例

4.3 ガスシールド消耗電極式アーク溶接法 (GMAW)

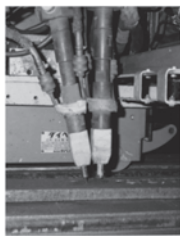
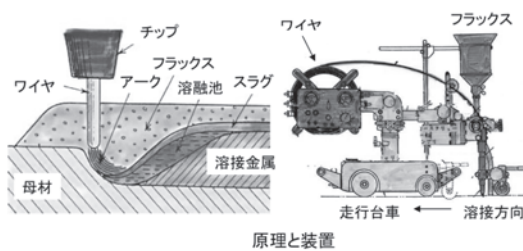
GMAW (Gas Metal Arc Welding) は図18に示すように、アルゴンや炭酸ガスなどのシールドガス中でワイヤと母材との間にアークを発生させて溶接するものである。アルゴンなどの不活性ガス (数%の酸化性ガスを混ぜたものも含む) を用いる場合はミグ (MIG: Metal Inert Gas Welding) 溶接、炭酸ガスを用いる場合は炭酸ガスアーク溶接 (CO₂溶接)、アルゴンと炭酸ガス (または酸素) の適当な割合の混合ガスを用いる場合はマグ (MAG: Metal Active Gas Welding) 溶接と呼び、GMAWは総称である。安価な炭酸ガスをシールドガスに使用するCO₂溶接の普及により、手溶接 (被覆アーク溶接: SMAW) から半自動を含む自動化が進んだ。

GMAWは多くの構造物に適用されているが、図19に造船におけるCO₂溶接の適用例を示す (エレクション溶接: ドック内の溶接)⁷⁾。鉄道車両やLNG船のタンクなどに使用され

ているアルミニウム合金はSMAWやSAWが困難であり、ミグ溶接が多用されている。

4.4 セルフシールドアーク溶接法 (FCAW-G)

GMAWに対して、ワイヤに内包したフラックスによるシールド効果を利用するセルフシールドアーク溶接 (FCAW-S: Self-Shielded Flux Cored Arc Welding、ノンガス溶接) があり、図20に原理と適用例を示す。シールドガスが不要のため、海外では屋外の現場溶接に多く用いられている。図には鋼管杭および建築現場における溶接の様相を示したが^{14,15)}、RC橋脚の鋼板巻立て補強にも適用されている。しかし、ヒュームが多く、溶接金属のじん性が必ずしも高くないことなどから、日本では海外と比べて使用されることは少ないようである。

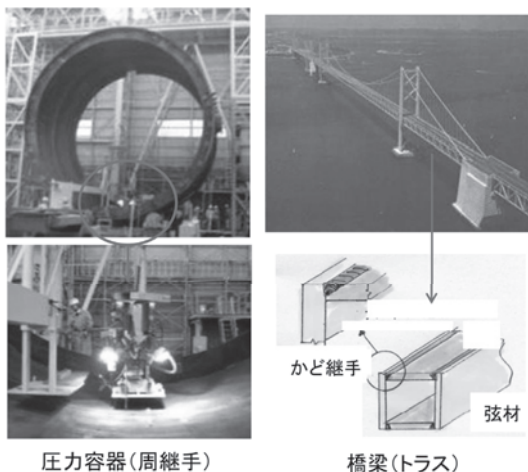


トーチとフラックス (2電極)



溶接状況 (工場板継溶接)

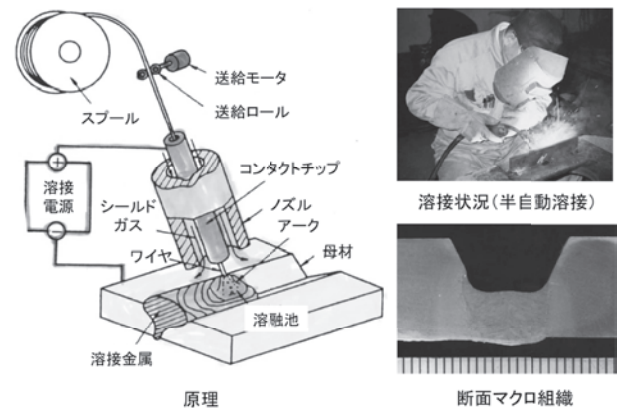
図16 サブマージアーク溶接 (SAW)



圧力容器 (周継手)

橋梁 (トラス)

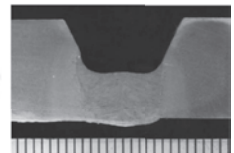
図17 サブマージアーク溶接 (SAW) の適用例



原理

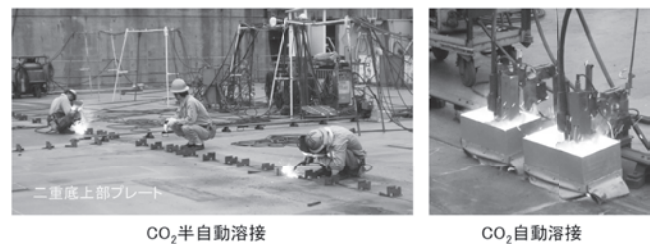
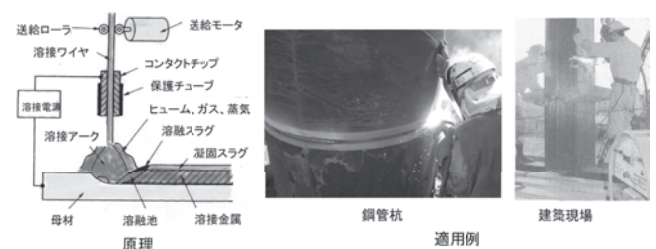


溶接状況 (半自動溶接)



断面マクロ組織

図18 ガスシールド消耗電極式アーク溶接法 (GMAW)

CO₂半自動溶接CO₂自動溶接図19 造船におけるCO₂溶接の適用例

原理

適用例

図20 セルフシールドアーク溶接 (FCAW-S) と適用例

4.5 ガスシールド非消耗電極式アーク溶接法 (GTAW)

GTAW (Gas Tungsten Arc Welding, 総称) は図21に示すように不活性ガス中でタングステン電極と母材との間にアークを発生させて溶接する方法であり、ティグ溶接 (TIG 溶接: Tungsten Inert Gas Arc Welding) 法はその一つである。GTAWは能率は劣るが高品質で各種材料の溶接が可能であり、全姿勢溶接にも適している。図21には配管全姿勢溶接装置の例も示した。図22にGTAWの適用事例として地下メンブレン式LNGタンクを示す¹⁶⁾。ほかにもジェットエンジンをはじめとして多くの構造物に使用されている。

4.6 プラズマアーク溶接法 (PAW)

プラズマアーク溶接法 (PAW: Plasma Arc Welding) の原理を図23に示す。動作ガス (アルゴン) と拘束ノズルでアークに熱的ピンチ効果 (Thermal pinch effect) と磁場ピンチ効果を与え、アークを絞ることにより得られた高エネルギー密度の高温プラズマ流を高効率溶接熱源とするものである。

図24にプラズマ溶接の適用例を示す¹⁷⁾。図に示した例のほか、化工機、自動車ボディの部品などにも使用されている。

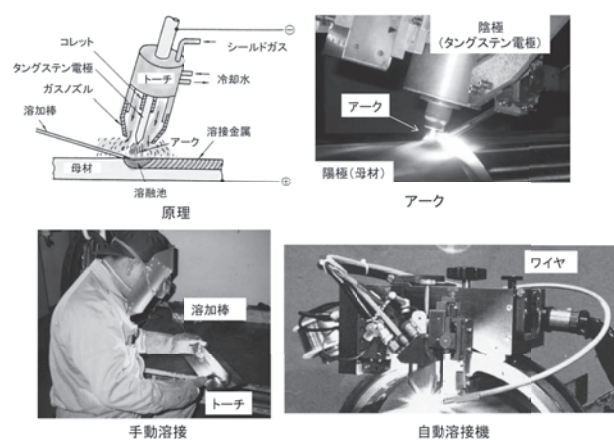


図21 ガスシールド非消耗電極式アーク溶接法 (GTAW)

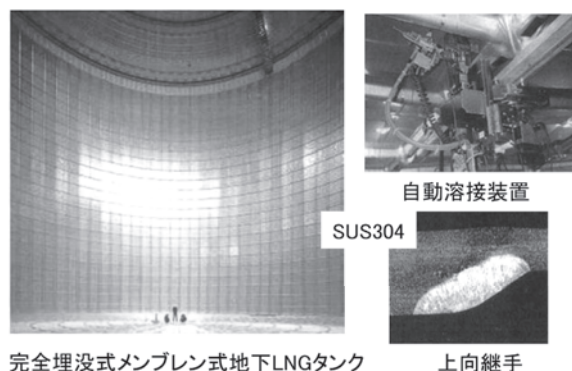


図22 タンクにおける自動TIG溶接の適用例

4.7 スタッド溶接 (SW)

スタッド溶接 (SW: Stud Welding) は、ボルトや丸棒などを母材に直接アーク溶接する方法であり、原理を図25に示す¹⁸⁾。最近ではコンタクト方式が使用される。シールドは行わないが、フェルールでアークシールドと余盛成形を行う。複合構造の鋼桁における鋼とコンクリート桁との連結部 (力の伝達: PC棒鋼とスタッドによる) などにも適用されている。

図26にスタッド溶接の適用例を示す⁷⁾。また、LNGタンクなどボルトの固定にも多く使用されている。

4.8 エレクトロガス溶接法 (EGW)

EGW (Electro-Gas Welding) は立向専用のCO₂溶接である。図27に示すように母材を適当な間隔をあけて垂直に設置し、溶接箇所母材両側面に摺動式の水冷銅当金を取りつけて炭酸ガスのシールドガス中でアークを発生させ、溶接を行う。1電極で厚板の1パス溶接が可能であり、電極を揺動させたり多電極とすることにより80mm程度の厚板にも適用可能である。しかし、大入熱のため溶接金属および熱影響部

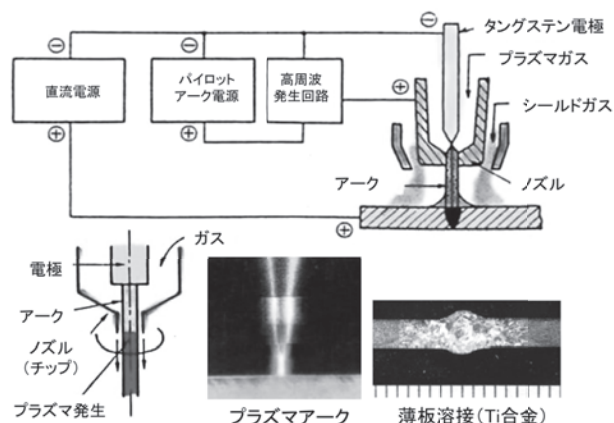


図23 プラズマ溶接 (PAW)

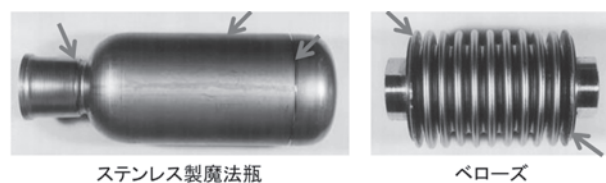


図24 プラズマ溶接 (PAW) の適用例

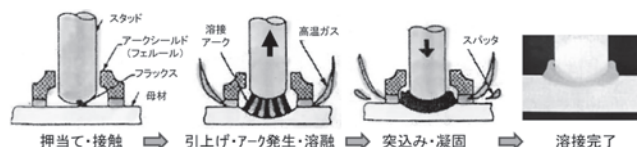


図25 スタッド溶接 (SW)

の材質劣化が生じ易く、注意を要する。

図28にEGWの適用例を示す^{7,19)}。これら以外に、船舶の船側外板エレクトロslag溶接や橋梁ウェブの現場溶接などへの適用例がある。

4.9 エレクトロslag溶接 (ESW)

図29にEGWに類似の立向専用溶接であるESW (Electro-

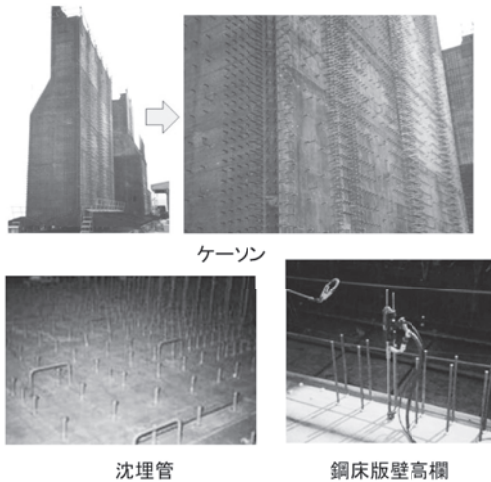


図26 スタッド溶接 (SW) の適用例

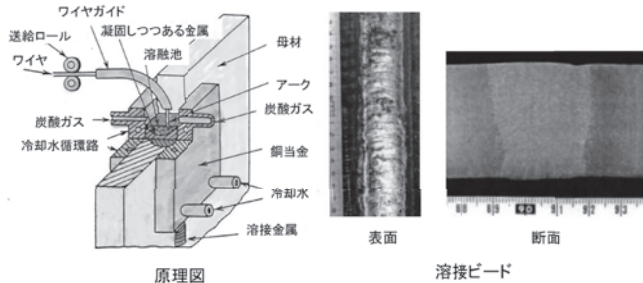


図27 エレクトロガス溶接 (EGW)



図28 エレクトロガス溶接 (EGW) の適用例

Slag Welding) 法を示す。ESWの熱源はEGWと異なりアークではなく、溶融slag浴中を流れる電流による抵抗発熱である。ワイヤ数を増やすことにより、数百mmの極厚板の溶接も可能である。摺動式水冷銅当て金に代り固定式的水冷銅当て金を用い、送給ワイヤに代り溶接長に相当する長さの鋼管の固定消耗ノズルを用いるのが消耗ノズル式エレクトロslag溶接法 (ESW-CG: Consumable Guide Electro-Slag Welding) である。ESWはEGWより相対的に入熱が大きく、鋼材および溶接金属のじん性確保が必要である。

図30にESWの適用例を示す⁷⁾。図に示したのは水冷式銅当て金の代りに永久裏当て金を用いる方法であり、予め溶接で組んだボックス柱ウェブに穴をあけ、エレクトロslag溶接によりダイアフラムを当て金ごと溶接・一体化する工法である (ビル鉄骨)。また、図中には圧力容器内部への带状電極によるエレクトロslag溶接による肉盛溶接法を示す⁷⁾。従来は带状電極によるサブマージアーク溶接が適用されていたが、エレクトロslag溶接は溶込深さを浅く均一にコントロールすることができ、希釈が小さいメリットがある。

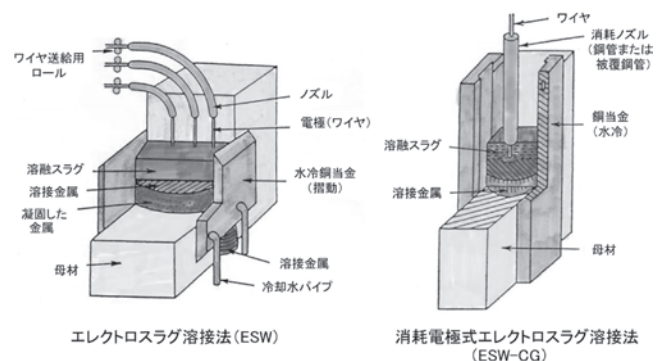


図29 エレクトロslag溶接 (ESW)

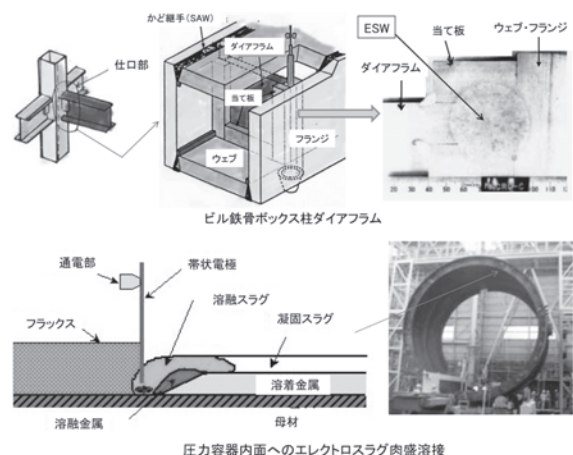


図30 エレクトロslag溶接 (ESW, ESW-CG) の適用事例

4.10 電子ビーム溶接 (EBW)

EBW (Electron Beam Welding) は図31に示すように真空中で発生させた高速の電子ビームを熱源とする溶接法である。陰極から放出させた電子を加速・収束させて溶接箇所へ衝突させると、電子の運動エネルギーは熱エネルギーに変換し、一瞬のうちに表面が加熱・溶融・蒸発する。ビームは次々と当たるので空孔があき(キーホール)、表面張力、重力などのバランスにより維持されているうちに周囲から凝固が始まり、溶接金属が形成される。EBWはエネルギー密度が高く、図に示すような幅の狭いきわめて深い溶込みが得られる。溶接変形が小さく抑えられて、精密溶接ができるのも特徴である。真空中で溶接するので、高純度の溶接が可能である。

図32にジェットエンジンにおけるEBWの適用例を示す^{7,20)}。Ti合金およびNi基合金である。その他の適用例としては、深海艇「しんかい6500」のTi合金耐圧殻にも適用された。電子ビームは非常に高効率・高精度・高純度の接合法であるが、真空を必要とすることがネックである。

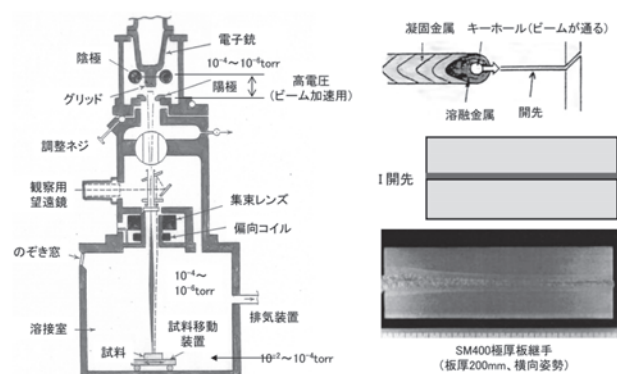


図31 電子ビーム溶接 (EBW)

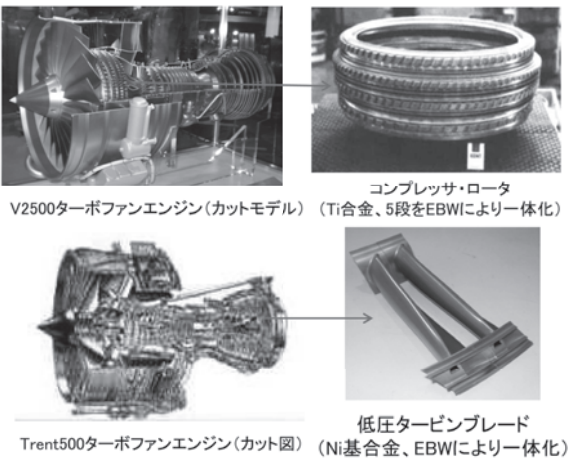


図32 電子ビーム溶接 (EBW) の適用例

4.11 レーザ溶接 (LBW)

LBW (Laser Beam Welding) は図33に示すように熱源に光(レーザー光: 増幅された波長の整ったビームエネルギー)を用いる深溶込み溶接法であり、近年普及が進んでいる。数mm以上の板厚に用いるレーザー溶接にはかつてはCO₂(ガスレーザー)が用いられていたが、現在はYAGレーザー(固体レーザー)を経てファイバーレーザーに移行しつつある。また、ディスクレーザーや半導体レーザーも適材適所に使用されている。さらに、近年はレーザーとアークを組み合わせたレーザー・アークハイブリッド溶接も開発され、適用が増えている。

図34にレーザー溶接の適用例を示す^{7,21)}。これ以外に、自動車、航空機、鉄道車両、船舶、原子力など多くの構造物に適用されている。

4.12 抵抗溶接

代表的抵抗溶接は抵抗スポット溶接(RSW: Resistance Spot Welding)であり、図35に示すように重ねた板の間の抵抗発熱で溶接を行う。図には鉄道車両への適用例²²⁾ほかにも示し

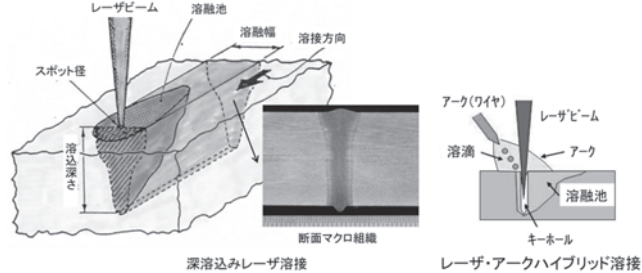


図33 レーザ溶接 (LBW)

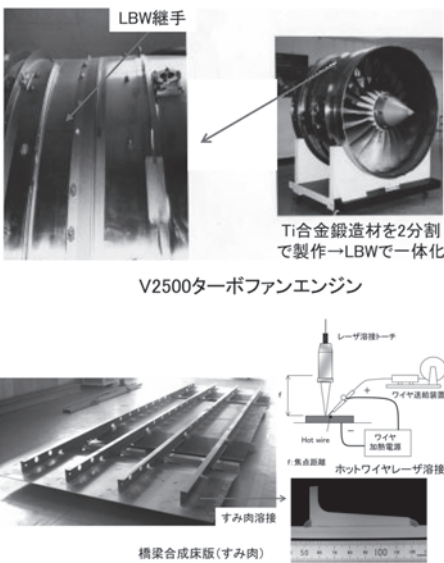


図34 レーザ溶接 (LBW) の適用例

たが、自動車の車体の組立てにも多く用いられている。また、航空機エンジンにも使用されている。

図36は抵抗スポット溶接の電極を円盤状にし、連続重ね溶接を行うシーム溶接 (RSEW : Resistance Seam Welding) の例²²⁾ ほかである。この他に、自動車の燃料タンク、メンブレンタイプLNG船、ビールタンク、ドラム缶など多くの構造物・製品に適用されている²³⁾。

4.13 フラッシュ溶接 (FW)

図37にフラッシュ溶接 (FW : Flush Welding) の原理と適用例²⁴⁻²⁶⁾ を示す。小刻みに前進・後進を繰り返して接合面にアークを発生させ、最後は加圧により接合が完了する。大断面の接合が可能である。図に示した鎖、レール、パイプラインのほか、自動車部品、飛行機の脚柱などに適用されている。フラッシュ溶接は入熱が大きく、溶接部のじん性に考慮する必要がある。

4.14 摩擦溶接法 (FRW)

図38に示す摩擦溶接法 (FRW : Friction Welding) は、部材を突合せて相対的に回転運動をさせ、接触面で発生する摩擦熱を溶接熱源として利用するものであり、突合せ面近傍が適当な温度 (圧接温度) に達したとき、相対運動を停止させ

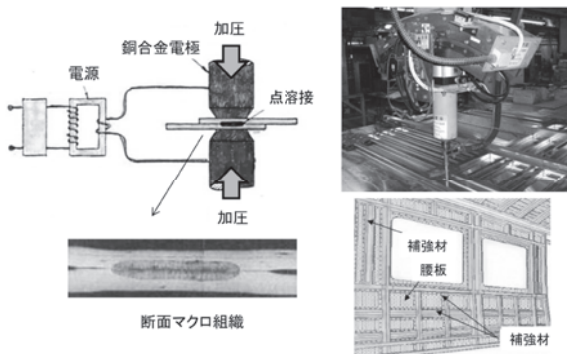


図35 抵抗スポット溶接 (RSW) と鉄道車両への適用例

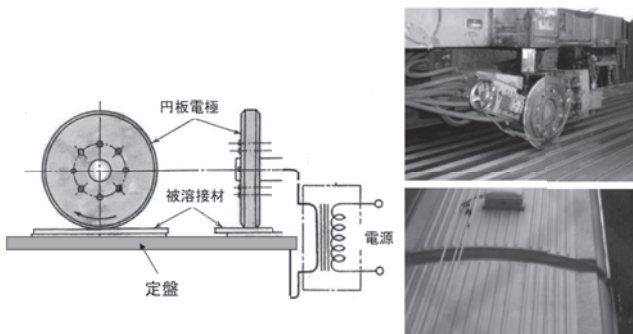


図36 シーム溶接 (RSEW) と鉄道車両への適用例

て圧接する。同様の接合法に、図38に示したイナーシャボンディングがある。フライホイールに被接合物を取り付けて回転させ、もう一方の非接合物を所定の圧力で押しつけて回転が停止すると接合が完了する。摩擦溶接部の様相とジェットエンジン部材へのイナーシャボンディングの適用例を図に示す⁷⁾。

4.15 ガス圧接法 (PGW)

図39に模式図を示すガス圧接 (PGW : Pressure Gas Welding) は、継手部を酸素アセチレン炎などのガス炎によって加熱し、加圧・接合させる方法である。図に示すように、鉄筋などの丸棒、角棒やレールなどの接合に使用される^{13,27,28)}。

4.16 拡散接合 (DFW)

図40に示す拡散接合 (DFW : Diffusion Welding) は母材

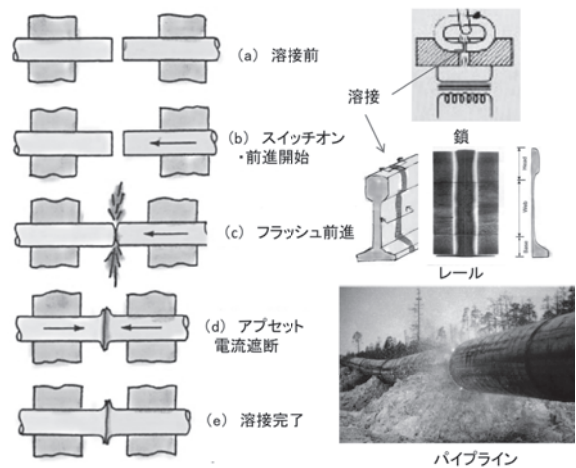


図37 フラッシュ溶接 (FW) と適用例

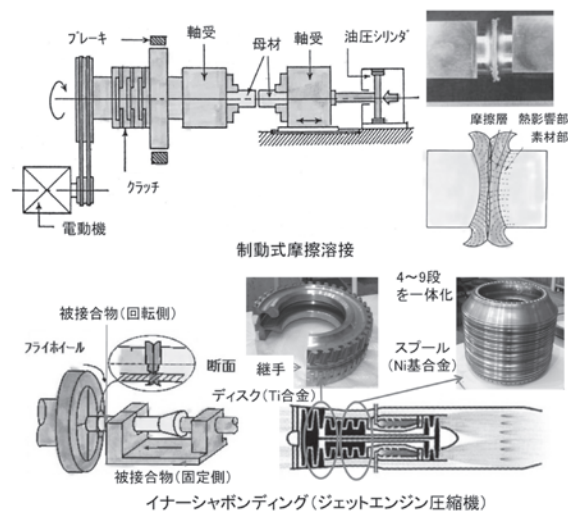
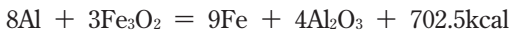


図38 摩擦溶接 (FRW) と適用例

を溶融させることなく固相状態で、しかも著しい変形を生じさせないで加熱・加圧して接合する精密溶接法である。界面は平坦かつ清浄にして、真空中で接合を行う。被接合部材の組み合わせによっては、接合界面にバフ材をはさんで接合することもあり、とくにバフ材層が溶融する場合には液相拡散接合という。用途の例を図41に示す^{7,29)}。

4.17 テルミット溶接 (TW)

微細なアルミニウム粉末と酸化鉄との混合物をるつぽに入れ、その上に酸化バリウム、マグネシウムなどの混合粉末を乗せて点火すると、次式に示す反応により約2800℃の純鉄の湯とアルミナになる。



このテルミット反応を利用して鉄鋼を溶接する方法をテ

ルミット溶接 (TW : Thermite Welding) という。図42に示すように溶接箇所の周囲に鑄型を作り、接合箇所は800～900℃に予熱しておいて溶融金属と母材との融合を促進する。図にはレールの溶接への適用例¹³⁾を示したが、車軸などへの適用例もある。

4.18 摩擦攪拌溶接 (FSW)

FSW (Friction Stir Welding) は接合部に機械的な回転力を与えて塑性流動を誘起し、材料同士を攪拌・接合する。図43にFSWの接合機構の概念図と接合部の様相を示す³⁰⁾。接合に際しては、先ず板厚とほぼ同じ長さのピンがついた接合ツールを用意し、高速で回転しながら挿入する。ピンおよび接合ツール下面と接する母材が摩擦熱により急速に温度上昇し、塑性変形に対する抵抗力が低下する。ピンの外面には溝状の凹凸が設けられており、変形抵抗の低下したピン周りの

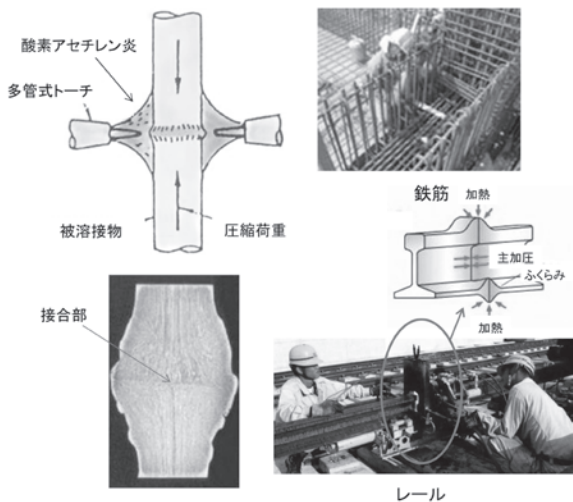


図39 ガス圧接 (PGW) と適用例

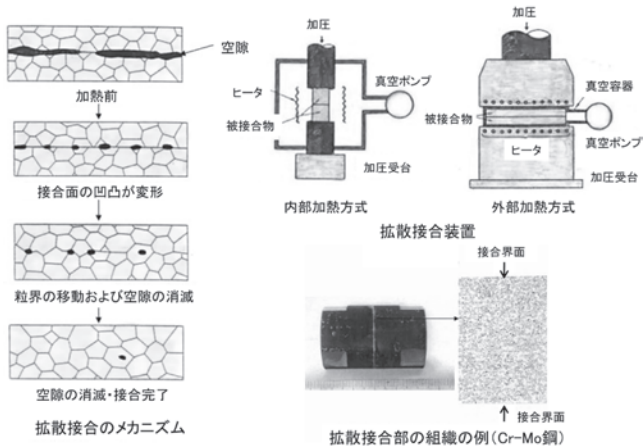


図40 拡散接合 (DFW)

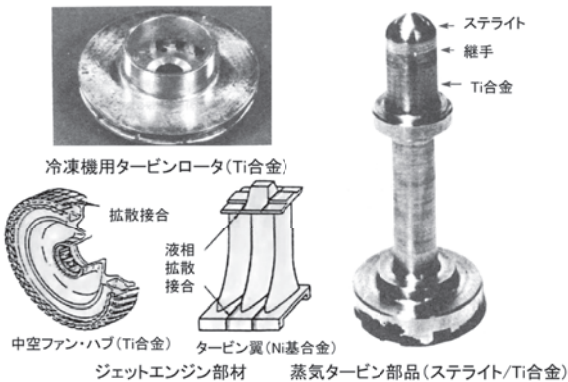


図41 拡散接合 (DFW) の適用例

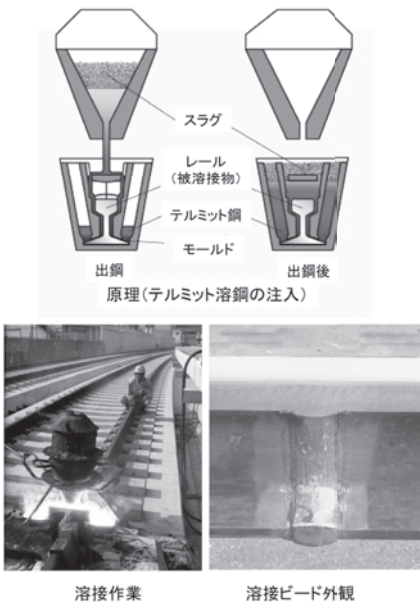


図42 テルミット溶接 (TW) とレールの接合への適用

母材はツールおよびピンの回転に引きずられる形で回転する。これにより、母材の一部が攪拌・一体化され、接合が行われる。

図44に適用事例を示す^{7,31-33})。アルミニウム合金を主体に各種構造物への適用が始まり、ヨーロッパでは客船や高速船の補剛材に多く使用されている。日本では鉄道車両への適用実績が多く、新幹線ではFSWにより組み立てたアルミニウム合金製ダブルスキン構体が主体となった。FSWは航空機機体、自動車部品、ロケット推進薬タンクなどにも適用されている。また、最近では鉄鋼材料に対するFSWの研究・開発も進んでいる。

4.19 その他の溶接法

前項までに紹介してきた溶接法以外にも各種溶接法があり、概略を述べる。

図45に相様を示すガス溶接 (OFW: Oxyfuel Gas Welding) は、アーク溶接が実用化される前から使用されていた溶接法である。燃料ガスと酸素の混合物の燃焼熱を利用して溶接す

る方法であり、薄板の溶接が可能である。溶接部の硬化も少ない。

高周波溶接法 (USW: Ultra Sonic Welding) には、接点により通電を行う高周波抵抗発熱とコイルに通電して高周波誘導加熱がある。ともに、パイプの製造などに用いられ、通電・加熱後に加圧ロールを通して溶接が完了する。

超音波溶接法は接合面に与える超音波振動を利用する。加圧下の振動により界面の酸化膜は破壊・除去されて清浄面の接触が生まれ、温度の上昇と併せて接合が完成する。金属箔、金属板、電気接点、用いられている。

表面機能材の一種であるクラッド鋼 (合せ材) の製造も溶接・接合プロセスにより、かつては図46に示すように爆発溶接法により製造されていた。爆発溶接法は火薬の爆発によって生じる瞬間的な高エネルギーを利用する溶接法である。近年は、図46に示すように鍛接法の一種であるロール圧接法 (ロール溶接、Roll welding) に移行した。また、鋼管杭ではシーム溶接 (RSW) によりクラッド材を表面に貼り付ける

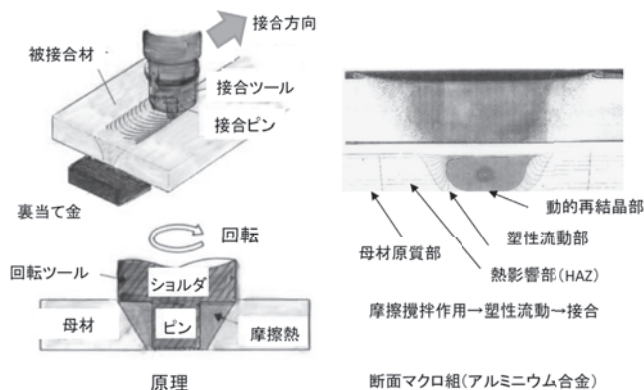


図43 摩擦攪拌溶接 (FSW)

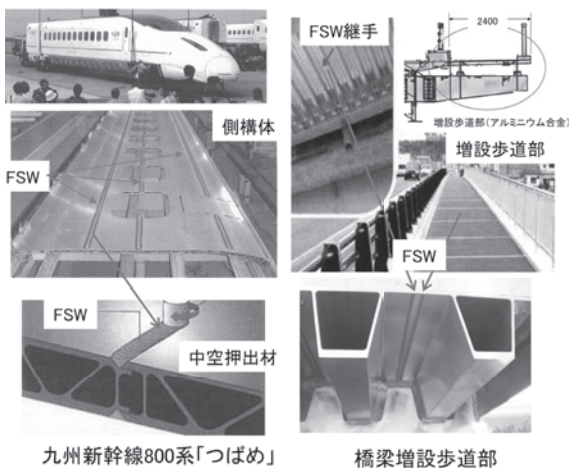


図44 摩擦攪拌溶接 (FSW) の適用例

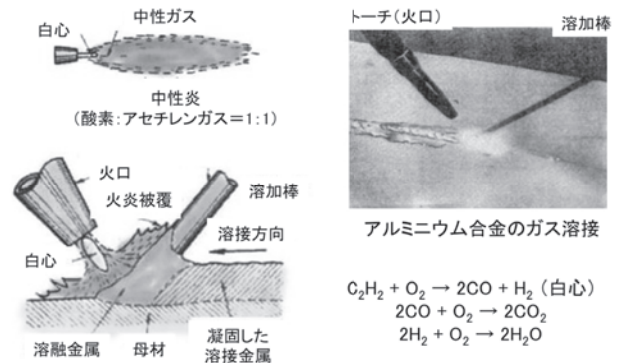


図45 ガス溶接 (OFG)

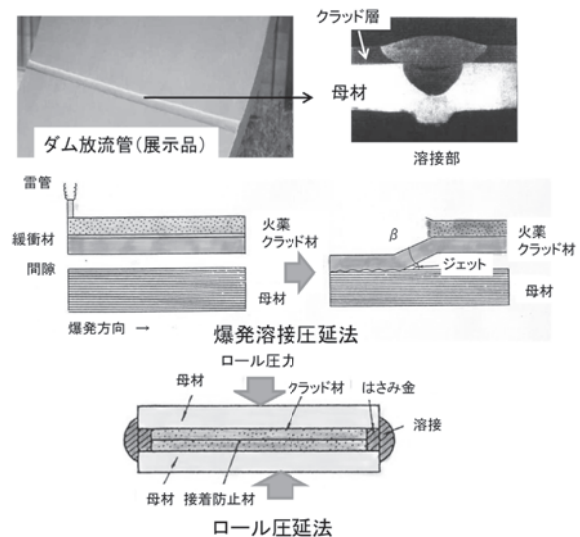


図46 クラッド鋼

例もある。鍛接法は接合すべき部分を加熱し、圧力または打撃を加えて接合する方法である。鍛接法には、日本刀の製造過程である槌打溶接法 (Hammer welding) もある。

5 おわりに

溶接の全体観、すなわち溶接の歴史、各種接合法との相違、溶接法の種類と適用対象などについて紹介してきた。溶接法には非常に多くの種類があり、適用対象も非常に多岐にわたる。紙面の関係でごく一部と概略しか紹介できなかったが、参考になれば幸いである。また、溶融溶接・アーク溶接、レーザ溶接、摩擦攪拌溶接、抵抗スポット溶接については、次回以降に継手の特性なども含めた詳細な紹介が行われる予定である。最後に貴重な資料を参考にさせていただいた諸氏および各社に感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村春雄：日本溶接協会，日本溶接技術史，溶接百年史 第一編総説，(1997)
- 2) 船の科学館展示品
- 3) 福田烈ほか：軍艦開発物語，光人社NF文庫，(2002)
- 4) 前間孝則：戦艦大和誕生 (上) (下)，講談社，(1999)
- 5) 中西保正：溶接技術者から見た日本の大型溶接構造物の歴史と変遷，溶接学会誌，74 (2005) 6.
- 6) 田島二郎：高力ボルト摩擦接合概説，技報堂，(1966)
- 7) IHI 私信
- 8) 神戸製鋼所私信
- 9) 高圧ガス保安協会：球形タンク破裂事故調査報告書 (概要)，(1969)
- 10) 左近淑郎：火力発電プラント溶接部のクリープ損傷事例と寿命管理，溶接学会誌，67 (1998) 4.
- 11) 川崎製鉄：20世紀・鉄の名作 I および II，(1999)
- 12) 日本エンジニア社私信
- 13) JFE 工建私信
- 14) 日鉄住金溶接工業私信
- 15) 大田孝二，深沢誠：橋と鋼，建設図書，(2000)
- 16) 井口雅之，飯島亨，牧田昌之，今村和久：メンブレン溶接への画像倣いシステムの適用，IHI 技報，39 (1999) 4.
- 17) 三田常夫氏私信
- 18) 西川和一：スタッド溶接の最新事情，ダイヘンスタッド社技術資料
- 19) 河野武亮，片山典彦：特集 日本の溶接技術の現状と展望－貯槽－，溶接技術，34 (1986) 5.
- 20) 海外軽金属溶接の展望－2002年－，軽金属溶接，軽金属溶接協会編，41 (2003) 11.
- 21) 大脇桂，猪瀬幸太郎，杉野友洋，松本直幸，山本元道，篠崎賢二：半導体レーザを用いたホットワイヤ隅肉溶接プロセスの開発，溶接学会全国大会講演概要，第86集，(2010)
- 22) 東急車両私信
- 23) 古川一敏：片面溶接施工等新しい重ね抵抗溶接法，溶接学会誌，78 (2009) 4.
- 24) 新日本機械製鎖私信
- 25) 上田正治，岩野克也：貨物鉄道用レールの最近の進歩，溶接学会誌，76 (2007) 7.
- 26) 小溝祐一：特集「超高強度鋼とその溶接技術」NEDOプロジェクト「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」の概要と枠組みについて－主として高強度溶接金属について－，溶接学会誌，78 (2009) 6.
- 27) 松栄工業私信
- 28) 東洋ガス圧接私信
- 29) 鈴木春義：溶接ハンドブック，山海堂，(1962)
- 30) 古賀信次：特集 21世紀の溶接施工技術の展開 3 新接合技術への期待，溶接学会誌，69 (2000) 3.
- 31) フォトレポート，溶接技術，51 (2003) 11.
- 32) クラビア：軽金属溶接，43 (2006) 1.
- 33) 日立製作所私信

(2011年5月16日受付)