けて掘削中の安定を保つ方式をとっている。稼働水深は300 m で約 7,500 m の掘削能力を持っている。

3.9.2 各種ブイ

浮上型の物としては各種ブイがある。Fig. 26 は20万トンタンカー用の1点繫留ブイである。これはタンカーを繫留するとともにこのブイにつながった海底配管を通して陸上の貯油タンクに送油するものである。また Fig. 27 は伊豆大島沖に設置された海上電波中継基地である。全長は135 m, 吃水100 m で550 m のチェーン4本を使い水深180 m のところに設置されたシンカーに繫留され、上部のドームの中に設置されたアンテナで電波の中継を行なっている。

3.10 潜水型

水深が深くなると採油のために固定式のプラットフォームを設置することが不可能になる。そこで波の影響のない海底に設置した装置をリモコンで動かすというアイ

ディアが必然的に生まれてくる。わが国でも他国でもこの種研究は続けられていると聞くので将来実用化されると思うが、海中における人間の活動の困難性を考えるとその前途は多難であろう。

4. む す び

以上きわめて概略ながら海洋構造物の現状について説明した。何しろ歴史も浅く、また急速に発達中の機種で型式も千差万別であるのでとても全体を紹介することはできなかったが、何かのご参考になれば幸である。

引用文献

- 1) Offshore 誌 Feb., 1972
- 2) Offshore 誌 May, 1973
- 3) Offshore 誌 Jun, 1973
- 4) Offshore 誌 Feb., 1973

水中溶接法の現状*

蓮 井

淳**

Development of Underwater Welding Processes*

by Atsushi Hasui**

1. 緒 言

今後、海洋の開発がどのような方向に展開するかについては簡単に予測できないが、いずれにせよ、海中の構築物の増加は十分に予想される。現に、海底の送油パイプライン、海底油田の探掘設備などの建造は次第に増えている。これら海洋構築物の建造に当って、陸上あるいは船上で要素部材の組立作業をした後に海中に沈める方式が施工の便宜、継手の品質保証および工事費の低廉などの面から望ましいのは勿論である。

しかし、構築物の形状が複雑になり、大型化し、また、設置場所の水深が大となるに従い、海中における組立建造の確実な技術が要求されるようになるであろう。この場合、リベットなどの機械的継手と溶接継手が併用されるものと予想される。また、既設構築物の故障あるいは損傷部分の補修に迫られる場合、材料の切断と溶接加工が必要となろう。このような事態を予想して、各方面で水中溶接の開発研究が旺盛に進められている。しかし、いまだ独自に開発された新しい溶接方法は出現していない。現注、進められている研究は従来の溶接法を水中に

持込んで、それぞれ、周囲の水から溶接箇所を保護する方法の開発、また、水中溶接に適当な溶接熱源の選択とその合理的活用法の探求などに絞られているといえよう。

水中溶接は乾式溶接と湿式溶接に大別される。

乾式溶接は水中の溶接箇所をその周囲に大きく空間を形成するよう特殊なチャンパで囲み、その中の水を排除して気体中で溶接する方法である。この方式は、すでに、海底の送油パイプラインの分岐管溶接に実用され成功したことが報告されている¹⁾。ここで使用された溶接法はTIG溶接であった。この場合は、水中溶接とはいえ、溶接箇所に水は直接に融れないので、溶接部の水冷(急冷)および水素吸収の問題などは解消される。従って、将来、経済性および状況の許す限り、この種類の水中溶接が行なわれると思われる。この場合、勿論、溶接雰囲気は周囲の水圧と同じ圧力となっている。高圧下でのアークは大気圧アークとは甚しく異なった挙動を示すの

* 原稿受付 昭和48年11月29日

** 正会員 慶応義塾大学工学部 Member, Keio University, Faculty of Engineering

で、この分野での研究は大いに要望され、わが国においても、すでに、活発な活動が始まっている。

湿式溶接は、直接に水中で行なう溶接法である。この場合、溶接熱源および溶接箇所は水に囲まれているので、極力、簡単な方法でこの部分に気体空洞を作って熱源の安定性の確保と溶接箇所への水の侵入を防ぐことに種々の工夫がなされている。しかし、どのような方法を採用しても、溶接箇所の小空洞の周りは水に囲まれているので、溶接への多少の水の害は避けられないで、種々の問題を生ずる。しかし、この方法は簡便で、各加工物の形状に適合させなければならない大規模なチャンパ設備を必要としないので、溶接箇所の形状が複雑な場合、溶接線が短く、かつ部分的に形状の急変するような場合あるいは応急の処置に迫られる場合などの溶接には必須なもので、今後、このような事態に絶えず直面することになると考えられる。したがって、現在行なわれている開発研究はほとんどこの湿式水中溶接法についてである。

古くより必要に迫られて溶接棒による水中アーク溶接が実用されてきた。この方法については基本的に大きな改善がみられなかったが、最近、各方面で再検討が進められ、成果があげられつつある。また、炭酸ガスアーク溶接、MIG溶接などガスシールドアーク溶接および電子ビーム溶接、プラズマ溶接など、高エネルギー熱源を利用する新しい溶接法の水中溶接への適用性について研究が進められている。

本文では、湿式水中溶接法（以後、単に水中溶接という）の実用と研究の現状について概説する。

2. 水中被覆アーク溶接法

もっとも簡便で、直接的な方法である。この溶接法が試みられた水深の最大は180mであるが、この深さではアークが発生すると、フラックスの中に捕捉されているガスが熱膨張するため、フラックスが脱落し溶接は不成功に終わったといわれる²⁾。現在、一般には、15~20mの水深までの作業が対象であって、既設の設備あるいは船舶の故障部の補修溶接にもっぱら実用されている(Photo. 1)¹⁾。この場合、同径の溶接棒に対して大気中溶接のときのアーク電流に比べて約20%大きな電流を用いている。

この方法は、通常、手溶接によっているが、アークの不安定と中断を避けるため溶接線にそって慎重にタッチウェルドをしなければならない。さらに、濁った水中という悪い環境の下で溶接が行なわれる。したがって、高度の潜水技能を有する溶接士によって初めて良好な溶接が得られる。

最近、被覆アーク溶接によって、より安定に満足な水

Photo. 1 潜水溶接士：(welder diver)による水中被覆アーク溶接
(BOC 社カタログの表紙)

中溶接が得られるようにするため、多くの応用的研究が行なわれている。

手溶接を対象に、市販の各種溶接棒を用い種々の溶接条件による実験結果では、低水素系以外の溶接棒によると防水しなくても安定なアークが維持され、気孔のない外観も良好な溶接が得られ、溶接継手の引張強さは母材と同程度以上となることが明らかにされた³⁾⁴⁾。また、加圧シミュレータ水槽の中で市販の溶接棒を用いて実際に手溶接した結果によると、突合せ溶接、すみ肉溶接ともに良好な結果が得られ、とくに、イルミナイト系溶接棒が適当であるといっている⁵⁾。

一方、簡便に安定して被覆アーク溶接ができるように、水中における重力式アーク溶接が試みられている⁶⁾⁷⁾。本法でも、種々の市販の溶接棒によっての実験で、手溶接の場合と同様に、低水素系以外の溶接棒で気孔のない良好な溶接が得られることが認められている。さらに装置を手軽に変形して、これを水中立向溶接に適用しても十分な強さを有する良好な継手が得られた⁸⁾。Photo. 2はその外観とX線透過写真を示したものである。

しかし、割れ発生に関する実験で、SS41材、SM50材ともにビード下に割れが生じ、後者では時間とともに次第に拡大すること、また、状態によっては溶接金属およ

Photo. 2 重力式被覆アーク溶接部の外観, X線透過写真および断面
(装置を変形して立向下進溶接を行なった)
(使用棒: 4 mm ϕ 高酸化チタン系)

び熱影響部にも割れが発生することが報ぜられている⁹⁾。これは溶接部の急冷部の急冷硬化ならびに溶接金属中に溶解した水素およびこれらの相乗作用が原因であるが、この事象は何れの水中溶接法においても生じうるもので、水中溶接に関する限り共通する問題である。

また、他の1つの変形として横置式水中被覆アーク溶接法の開発が進められている¹⁰⁾。

さらに、底部に半球状の空洞を有するプラスチック製のブロック状の覆い (shroud) の上部に穴を貫通し、そこを通した溶接棒で溶接する方法が開発されている。いわば、局部乾式水中溶接である。これによって酸化鉄、高酸化チタン、ルチルの3系統の溶接棒が検討され、この場合、鉄粉酸化鉄系のもののがもっともよい結果を与え、延びが改善されるといっている¹¹⁾。

水中被覆アーク溶接法は、手溶接の場合、溶接作業者は高度の熟練を要すること、溶接能率が低いので施工時間が長くなること、アークの制御ができないことおよび浅海での作業に限られることなどの短所を有するが、手軽に簡単な装置で施工できるという長所は大きな魅力で

ある。したがって、種々の溶接法が開発されようとも、将来においても大いに実用されるものと思われ、水中溶接により適合した溶接棒の開発およびその応用研究が期待される。

3. ガスシールドアーク溶接法

これはシールドガスによって形成される空洞中にアークを安定に維持して、溶接を行なうものである。現在、炭酸ガスアーク溶接およびMIG溶接、TIG溶接について検討が進められており、とくにMIG溶接は実用に供されている。この方式は半自動によって簡便に行なえる溶接法なので、今後、実用化への活発な展開が期待される。

3.1 炭酸ガスアーク溶接法

炭酸ガスアーク溶接をそのままの状態では水中溶接に用いると、ノズルと母材間隔を 3~5 mm にしかとれないので、これによる半自動溶接作業が困難である。そこで、水カーテン式水中炭酸ガスアーク溶接が開発されつつある¹²⁾。Fig. 1 は実験に用いられているトーチの概略図で、ノズルは二重になっている。内側のノズルは炭酸ガス流出用である。外側のノズルは水をカーテン状に流出させ、内側の炭酸ガスが大きな泡となってノズルと母材

Fig. 1 水カーテン式水中炭酸ガスアーク溶接ノズルの概略図

Fig. 2 水中炭酸ガスアーク溶接中の電流
電圧のオシログラム
(a) 水カーテンなし
(b) 水カーテン使用

の間隙から間欠的に逸脱するのを防ぎ、空洞の安定な形成を助長させるためのものである。Fig. 2はこの効果を示した溶接中の電流—電圧のオシログラムである（電流 180 Amp, 電圧 30 V, 溶接速度 20 cm/min, 炭酸ガス流量 30 l/min によるビードオンプレート溶接）。すなわち、水カーテンのない場合、電流は不規則に中断しているのに対し、水カーテンを用いると、溶滴は規則的に短絡移行しており、短絡の瞬間電流は増大するとともに電圧は低下し、安定な溶接が行なわれている。溶接ワイヤについてはソリッドとフラックス入り（炭酸ガスアーク溶接用とノンガスアーク溶接用の2種）が実験に用いられているが、後者、とくにノンガス用ワイヤによると溶接速度をいちじるしく高くしても（たとえば 120 cm/min），空洞のない良好な溶接が得られることが明らかにされた¹³⁾。この場合、周囲の水が濁って、溶接作業を監視することが困難になるという欠点を生ずる。

一方、水カーテンによる局部空洞形成に関する基礎的研究が展開されているので¹⁴⁾¹⁵⁾、この方式は1つの水中溶接法として定着してゆくものと思われる。

ただ、水深が大になって、圧力が高くなると、アークの集中性が大きくなってビード幅は狭くなり、溶込みは深くなるが、スパッターが多くビード表面はぼつぼつになるといわれているので¹⁶⁾、他のガスを混合するなど種々の工夫が必要であろう。

3.2 TIG 溶接法および MIG 溶接法

トーチと母材の間隙にアルゴン空洞を作って、溶接を行なうものである¹⁷⁾。この方式においても、トーチ周囲の環状ノズルから放射スカーツ状（たとえば、ノズル角

度：35/100，径：100 mm，ノズル間隙：2 mm）に水噴流を生ぜしめ空洞の安定化をはかっている。TIG溶接では、添加ワイヤは用いないで、アークによって母材を溶融し、溶接金属を形成しているが、I型突合せ溶接において、気孔などの欠陥のない良好な溶接が得られている。この溶接法においても、大気中溶接に比べてビード幅は狭くなり、溶込みは深くなっている。

MIG溶接では、トーチ直下で形成されるビードの凸部が噴流ノズル出口を溶接進行方向に対し後方において狭めるので、噴流が乱れて、空洞形成が幾分損われる傾向がある。しかし、空洞が安定に維持される条件を求め、それによって溶接を行えば、気孔などの欠陥のない外観の良好な溶接が得られている。この方式では噴流量が少なく、空洞が不安定であると、溶接金属に多くの気孔が残存する。この傾向はガスシールドアーク溶接に共通する傾向であろう。

Table 1 は TIG 溶接および MIG 溶接における溶接条件の例である。

一方、Fig. 3 に示すような透明なプラスチック製空洞形成装置（portable dry spot (PDS) といっている）を用いての MIG 溶接法が開発された¹⁸⁾。すなわち、図の

Table 1 水中における TIG 溶接と MIG 溶接の条件例

	TIG 溶 接	MIG 溶 接
シールドガス	Ar, 100l/min	Ar, 130l/min
噴 流 量	100l/min	100l/min
電 流	280Amp	250Amp
電 圧	20V	30V
溶 接 速 度	100mm/min	160mm/min
電 極	2% Th-W, 3.2mmφ	YM-26 ワイヤ 1.6mmφ

Fig. 3 MIG 溶接空洞形成装置 (PDS)

左側の開部(可撓性のゴム製カラーを取付けてある)からMIGトーチを突込み、輪郭ヘッドガasketを溶接箇所を押付けて溶接作業を行なう。他方、トーチの突込まれている装置の内部へは乾燥したアルゴンガス+炭酸ガスを送給して外への水圧と鈞合せ、また、ガス流でヒュームを去除く。なお、輪郭ヘッドは溶接箇所の輪郭、たとえば隅肉溶接における板段、パイプ溶接における凹面などに沿う形状のものに取換えられるようになっている。ヘッドガasketは多孔質で水を通さないスポンジ、すなわちゴム状材質で作られており、溶接母材表面でシール効果を有する。したがって、溶接に当っては裏当を必要とする。これは一種の局部乾式水中溶接法である。この溶接は40mの水深まで実用され、各溶接姿勢において、その結果はAPI規格1104に合格するといわれる。

4. プラズマ溶接法

プラズマ溶接では、そのトーチはTIG溶接、MIG溶接トーチに比べて、幾分、構造が複雑ではあるが、後述のように、アークの発生が容易で安定性に優れている上、操作が簡単であるから、溶接の機械化あるいは自動化に適していると考えられる。

Fig. 4 は水中プラズマ溶接の原理を示したものである

(b) プラズマジェットにプラズマアークを併発して溶接
Fig. 4 水中におけるプラズマ溶接

Fig. 5 プラズマ作動ガス(アルゴン)の流量とプラズマアークが発生するトーチ-母材間隔の関係

る。水中においてプラズマジェットを発生させる。トーチのノズルから噴出するプラズマジェットはトーチ前方の水中に空洞をつくる。この空洞の長さ以内に母材を近づけるとプラズマジェットを導体としてトーチ内の陰極と母材の間にプラズマアークが発生して溶接熱源となる。Fig. 5 は水中においてプラズマジェットを発生した状態で、プラズマアーク用直流電源にトーチ陰極と母材を結んでおいてトーチを母材へ近づけていくとき、プラズマアークの起動するトーチと母材間の間隔およびプラズマアークを発生させておいてトーチを母材から遠ざけるときの消滅する間隔を、プラズマ作動ガス(アルゴン)の種々の流量のもとに測定した結果である。このように水中において発生と持続の容易なプラズマアークは水中溶接用熱源として有利であると考えられる。

厚さ 6 mm SM41 鋼母材を用いて、ワンパス完全溶込みによる突合せ溶接と隅肉溶接について実験が行なわれている。まず、ノズルと同心の環状ノズルから噴出させるアルゴンガスでシールドを行なった場合、溶込み比(溶込み深さとビード幅の比)の比較的小さい溶接金属が得られ、この溶接部は継手効率は100%以上であるが、溶接金属には、空孔を幾分生じた¹⁹⁾。これはトーチ前面と母材間のアルゴンガス空洞の揺動によって母材上の陽極点がふらつく結果である。そこで、変形抵抗がガスより大で、水中での空洞の揺動を緩慢にする粘性液体(水ガラス)シールド(たとえば、水ガラス用ノズルの直径: 18 mm, 間隙: 2 mm)が試みられた。この結果、母材上の陽極点のふらつきが少なくなり、はなはだしく安定なアークの維持が確保されて、空孔のまったくない良好な溶接が得られるようになった。この場合、水ガラスの粘性係数と送給量は溶接結果に大きく影響し、これらの中には適正な組合せ範囲が存在する(Fig. 6)。なお、水ガラスシールドは、溶接箇所の保温効果を有し、溶接部

Fig. 6 水中プラズマ溶接におけるノールト水ガラスの流量と粘性が溶接結果におよぼす影響

Fig. 7 水中プラズマ溶接におけるボンド部の熱サイクルに対するノールドの効果

の急冷を緩和するので、溶接金属の切欠き靱性、伸びなどの性質の改善をはたしている。Fig. 7 はシールドなし、アルゴンシールドおよび水ガラスシールドにおける溶接ボンド部の熱サイクルを比較したものである²⁰⁾。

次いで、溶加材として、高酸化チタン系の複合ワイヤを送給して I 型突合せ溶接実験が行なわれた²¹⁾。厚さ 12 mm の SM41 鋼母材の両面から二層溶接し、完全な溶接が得られている。この場合、開先面間隙の溶接結果への影響が検討されたが、2 mm 程度以下ならば、添加材が十分に間隙を充填し、十分な余盛を有する良好な継手が形成されることが明らかにされた。

さらに、高水圧下での溶接実験が行なわれている²²⁾。

すなわち、5, 10 および 30 kg/cm² の水圧下で、厚さ 12 mm SM41 の鋼板を用いてのビード置溶接（シールドなし）において、プラズマアークは 5 kg/cm² では、1 kg/cm² に近い水中でと同様に²⁰⁾、瞬間的消滅と再点弧を繰返すが、10 kg/cm² 以上になると、はなはたしく安定に維持されることが明らかにされた。しかも、高水圧下における溶接では、ヒート外観は良好で溶込みが深く、溶接金属中に気孔のない溶接が得られる。したがって、本法は水深が大である場合の溶接に適しているものと予想される。

5. その他の溶接法

5.1 電子ビーム溶接法

電子ビームは高いエネルギー密度の熱源であって、他の溶接法に比べて最小の溶接入熱によってヒート幅の狭く溶込みの深い溶接ができるという独特の性質を有するので、電子ビームによる水中溶接の可能性が検討されている²³⁾。

電子ビーム溶接装置の構造は Fig. 8 のごとくで、大気中溶接用のものを本研究に流用している。電子の発生部は 10⁻⁴ Torr 程度の高真空中であるが、陽極の加速電圧 (150 kV) で加速された電子はその通路に 1.5 mm あるいはそれ以下の細いオリフィスを有する隔壁で仕切られた次第に真空度の低下する部屋を通過して下方へ飛行し、ついには外界（水中）へ射出される。外界へ射出された電子ビームは質量の大きな水分子との衝突によって

Fig. 8 水中における電子ビーム溶接

Photo. 3 水中へ射出された電子ビーム
(ビーム出力: 9 kW, 加速電圧: 145 kV)

エネルギーが急速に逸散されるので、射出口からヘリウムガスのジェットを噴出させて素材との隙間に原子量の小さなヘリウムふん囲気の空洞をつくる。Photo. 3 は水中へ射出された電子ビームである。

実験は電子ビームの射出口を水面下 50~75 mm に位置させ、3.2 mm 厚さの母材について行なわれた。溶接条件とその結果を Table 2 に示してあるが、満足な結果が得られている。

水中における電子ビーム溶接の欠点は、電子ビーム射出口と素材間の間隔を 6~12 mm 以下に保たないと、電子ビームのエネルギー減衰がはなはだしく、ビードの幅が広くなり溶込みが浅くなって本法本来の長所が失われるので、溶接箇所の形状に大きな制限があること、装置のヘッド部が大きくて、溶接の状態を作業中に観察できないこと、高電圧設備が大きく、水中での取扱いがやっかいであること、および高電圧加速された電子ビームの

照射部からX線を出すので、作業者の防ぎようについて注意を要することなのである。したがって、電子ビーム溶接を水中溶接に利用するには、これらの欠点を克服するため余程の工夫が必要であらう。

5.2 摩擦圧接法

摩擦圧接法において、最近、角材の接合も可能となったが、水中においては、その機構からいって、母材は断面が円形のものに限られるであろうという欠点を有するが、圧接現象がアーク程には水圧に影響されない上、摩擦発熱部への水の浸入は考えられないという利点を有する。したがって、対象物の形状に制限はあるが、水中送油管端へのフランジの接合、管類と管類あるいは丸棒材と板の接合などへの利用が考えられる。

S15C, S20C 鋼の中実丸棒 (13 mmφ) 同士の継手においては引張破断は母材に生ずるが、S30C, S45C 鋼同士の継手においては接合部あるいは熱影響部破断が見られる。後者の破断は水冷による接合部の硬化と接合外周

Fig. 9 炭素鋼摩擦圧接部の硬さ分布

Table 2 水中における電子ビーム溶接条件と結果

素 材 (厚さ 3.2mm)	電 子 ビ ー ム		溶接速度 cm/min	備 考
	加速電圧 kV	電 流 mA		
銅 (OFHC)	125	50	75	重ね溶接, 気孔は少ししかない (X線検査).
銅 (OFHC)	120	44	75	突合わせ溶接, 気孔あり (X線検査).
銅 (OFHC)	120	42	75	突合わせ溶接, 完全溶込み得られず.
304 ステンレス鋼	100	33	125	突合わせ溶接, ビード幅表面 2.3mm, 裏面 1.3mm, 溶接長の半分には気孔なし, 半分には気孔あり.
304 ステンレス鋼	100	32	125	突合わせ溶接, 開先は機械加工, ビード幅表面 2.5mm, 裏面 0.8mm, 気孔がわずかる.
304 ステンレス鋼	100	32	125	突合わせ溶接, 開先はシャー切断のまま, ビード幅表面 2.5mm, 裏面 1.5mm, 気孔なし (X線検査).
炭 素 鋼	105	42	125	重ね溶接, 気孔あり (X線検査).
304 ステンレス鋼	100	38	125	重ね溶接, 気孔なし (X線検査).
304 ステンレス鋼	103	40	100	ビード置溶接, ビード幅表面 1.3mm, 裏面 0.8mm, 気孔なし (X線検査).

(注) 各素材の長さは 50mm, 電子ビーム射出口と素材の間隔は 3.2mm である。

部の割れに起因するものである。Fig. 9 は接合部の硬さ分布を示したものである²⁴⁾。

最近、圧接箇所付近を雰囲気の水から熱絶縁して健全な圧接を得るのに成功したといわれる。水中圧接においては大気中に比べて2倍の動力が必要である²⁵⁾。

6. 結 語

以上、湿式水中溶接法についてその実用および開発研究の現状について述べた。すなわち、被覆アーク溶接、シールドガスアーク溶接、プラズマ溶接、電子ビーム溶接、摩擦圧接などである。これらは、それぞれ、水中溶接法として長短を有しているが、今後は、その長所を延ばすべく種々の改良が行なわれてゆくであろう。もちろん、溶接法の開発と併行してこの特殊な環境の下における溶接の材料学的研究が展開されて初めて、これらの溶接法は実用の可否の対象となり、産業界の判断に委ねられることになる。

今後、水中溶接に関する研究問題は次のようにまとめられると思う。

(1) 母材がSM41鋼板程度である場合には、適切な熱源によって注意して溶接すれば、溶接部に割れの発生は認められないが、さらに強力な鋼が用いられ、また、溶接部の拘束が高まる場合、必然的に、割れの問題が発生する。このためには、適切な熱源の探求、シールド剤の選択とその特性、合理的利用の研究および溶接部の後熱法あるいは保温法の開発、母材および溶加材についての冶金学的ならびに強度上からの検討が必要である。

また、水中溶接がいかに発達しても、必然的に、種々の不利な状態下での溶接となる上、また、作業は不自由であるから、それを考慮に入れて水中溶接に適應する設計の開発も望まれる。

(2) 水深が大となって雰囲気水圧が高圧になる場合および海水中で溶接される場合についての詳細な実験が要求される。現在行なわれている多くの実験は、水中で溶接するということで進められている。これらは、かなり実用目的に近い状態を現出していて、水中溶接の基礎現象を究明する上に大いに意義のあるものと思われる。しかし、水圧の上昇とともに溶接現象がはなはだしく変化する。また、海水中では、溶接電流の漏洩分流などの問題を生じる。したがって、これらの問題の解明とそれに

基づく溶接法の改善あるいは開発が必要である。

(3) 今後、水中での溶接量が多くなるにしたがい、溶接の高効率化は是非必要である。これには、遠隔操作による無人溶接を可能にしなければならない。装置の自動化、機械化のための実験データの集積と関連技術の開発、すなわち溶接状態とその結果の監視と制御、自動化・機械化の機構および水中における溶接部の検査法などについての研究と開発が必要である。

文 献

- 1) Lynch, R. P. and Pilla, F. J., Pipeline Hot-Tap Welding under 100 Feet of Sea Water, Weld. J., 48-3 (1969), 183
- 2) Levin, M. L. and Kirkley, D. W.; Welding Underwater, Met. Const. and Brit. Weld., May 1972, 167
- 3) 益本, 中島, 近藤, 松田. 水中溶接に関する研究(第1報), 本誌, 40-7 (1971), 683
- 4) 益本, 中島, 近藤, 松田. 水中溶接に関する研究(第2報), 本誌, 40-8 (1971), 748
- 5) 河村, 山口, 吉田, 田所. 市販被覆アーク溶接棒は水中溶接に適用できるか, 溶接技術, 20-6, (1972), 53
- 6) 安藤, 朝比奈, 鶴羽. 昭和47年秋季全国大会概要第11集
- 7) 蓮井, 菅. 昭和48年春季全国大会概要第12集
- 8) 蓮井, 菅, 当麻. 昭和48年秋季全国大会概要第13集
- 9) 安藤, 朝比奈, 鶴羽. 昭和48年秋季全国大会概要第13集
- 10) 浜崎, 仕友. 昭和47年秋季全国大会概要第11集
" 昭和48年春季全国大会概要第12集
- 11) Silva, E. A. and Hazlett, T. H., Shielded Metal Arc Welding Underwater with Iron Powder Electrodes, Weld. J., 50-6 (1971), 406
- 12) 浜崎, 棚原. ソリノドワイヤによる水カーテン式水中炭酸ガスアーク溶接, 溶接技術, 21-2 (1973), 83. 水カーテン式水中炭酸ガスアーク溶接法の研究, 本誌, 42-9 (1973), 897
- 13) 浜崎, 棚原, 立岩, 垣生. 昭和48年春季全国大会概要第12集
- 14) 西尾, 岡本, 和田, 信重. 昭和48年春季全国大会概要第12集
- 15) 西口, 松縄, 蔵岡. 昭和48年秋季全国大会概要第13集
- 16) Madatov, N. M.; Shape Relationships for Underwater Welding, Svar. Proiz., 1969-3, 11
- 17) 西尾, 岡本, 和田, 信重. 昭和48年春季全国大会概要第12集
- 18) Mohr, H. O., Kluttz, M. and White, B. E., Hydro Weld Underwater Welding Process, Offshore Technology Conference, Dallas, Texas (1973), Paper No. OCT 1782
- 19) 蓮井, 猪又. 水中におけるプラズマ溶接, 本誌, 40-7 (1971), 622
- 20) 蓮井, 衣川, 菅. 水中におけるプラズマ溶接(第2報), 本誌 42-1 (1973), 18
- 21) 福島, 福島, 衣川, 蓮井. 昭和48年春季全国大会概要第12集
- 22) 福島, 福島, 衣川, 蓮井. 昭和48年秋季全国大会概要第13集
- 23) Galerne, A., Underwater Welding, Cutting and Hand Tools (1969), 43, Marine Tech. Soc.
- 24) 平井, 田崎. 水中における摩擦圧接, 摩擦圧接研究会資料 No. 63 (1971)
- 25) The Welding Institute, Resistance and Friction Welding Research in the UK at the Welding Institute Abington, Cambridge, UK., IIW. Doc. No. III-478-73