

## 裏波サブマージドアーク溶接法について

日立造船KK技術研究所第1研究室\* 中井恒男\*\*

## 1 ま え が き

船舶、圧力容器、橋りょうその他の鋼製構造物の主要部分に含まれる突合せ溶接継手の性質は、それらの構造物の強さや寿命を左右する重要な因子であり、そのため、これらの構造物の溶接設計、施工およびその検査は非常に慎重に行なわれている。この溶接継手が健全であるためには、溶着鋼の冶金的性質がすぐれていることはもちろん必要であるが、それ以外にも溶接施工上の欠陥を含まねることが必要である。ことに開先底部（ルート部）の溶込み不良はその継手性能を大きく低下させる要素として、もっともさけられねばならない欠陥である。突合せ溶接継手のルート部の欠陥をさけるために、従来からもっとも一般的に行なわれている方法は、溶接後裏面からこのルート部を削り取ってこの部分を再溶接（裏溶接）する方法である。

これに反し、部材の片面のみから行なう溶接を片面溶接と呼び、一般的には片面溶接はそのルート部に欠陥の存在しやすいことから、両面溶接より信頼性が劣ると考えられている。しかし、被溶接物がパイプのように、裏面からの作業が不可能な場合にはどうしても片面溶接によることになる。また、小形の圧力容器などで内部で作業することに危険がある場合にも両面溶接は実施しがたい。さらに、最近、の船舶建造工程に見られるように大形の平面ブロックを作るような場合にも、その大きさのためにブロックの反転が非常に面倒なものになったりあるいはこの反転作業が工程の隘路になったりするような場合および両面溶接を片面溶接に代えることによって、工期および工数が大幅に節減されるような場合には片面溶接の魅力はきわめて大きい。

上述のように両側溶接が不可能、あるいは好ましくない事情のある場合、なんらかの工夫を加えて、両面溶接と同等の信頼性のある継手を片面によって得ようとする努力が各方面で行なわれ、現在いろいろな方法が実用されている。

\* 大阪市此花区桜島北之町

\*\* 工学博士・室長

## 2 各種片面溶接方法について

両面溶接に代るものとして現在実用されている主な片面溶接方法は、裏当を行なう方法、裏当をしない方法に大別ができる。

## 2-1 裏当を行なう方法

この方法は従来から片面からの溶接に最も広く採用されて来た方法であり、現在もなお広範な分野に使われている。これは図1に示すように開先ルート部と同時に裏当金（バックング・ストリップ）を溶融させる方法である。この方法の特徴は各種のアーク溶接と組合わせられて容易に安定した溶接結果を得ることと、サブマージドアーク溶接のような大熱量の溶接に適していることである。

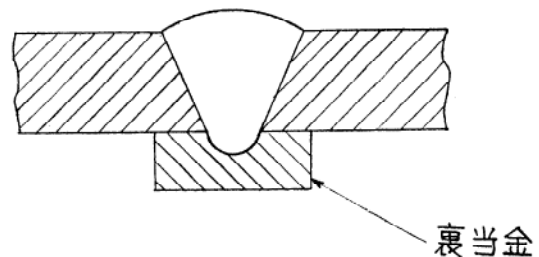


図1 裏当金による溶接

る。しかし、最近裏当金を使う方法は次のような理由から他の方法に代えられつつある。すなわち、パーマネント、バックング（溶接後裏当金を取らない）の場合には溶接のルート部と裏当金の間隙が構造上の切欠となり、その疲労強度を低下させると共に、腐食に対する誘因となることがある。またテンポラリーバックング（溶接後裏当金を取り去る）の場合には、これを除去する作業に多大の工数を要する。裏当金を使う以外のバックング方法としては水冷銅を使う方法と、溶剤（フラックス）による方法（メルトバックング）および不活性ガスによるバックングアップ方法がある。水冷銅をバックングに使う方法は、これによって溶湯が流れ落ちることが防がれると同時に冷却されて銅表面のみぞの中で裏波ビードが形成される。この方法は各種のアーク溶接方法と組合わせられて広く応用されている。銅板の大きさおよびその冷却方法を十分にすれば、相当大きな熱量を与えるよう

な溶接にも適し、サブマージドアーク溶接、炭酸ガスアーク溶接などと組合わせて溶接の能率化をはかることも行なわれている。

メルト・バックング方法はサブマージドアーク溶接の応用として開発された方法であり、サブマージドアーク溶接される突合せ継手開先の裏面にフラックスを圧着しておき、溶湯の流れ落ちるのを防ぐとともに製錬反応をも行なわしめるものである。

TIG 溶接（消耗電極式不活性ガスアーク溶接）に対しては不活性ガス（アルゴンまたはヘリウム）を開先裏面に流すことによって裏波ビードを調整すると同時にルート部の酸化を防ぐ不活性ガスバックング方法がある。

## 2-2 裏当をしらない方法

これまで述べてきたそれぞれの方法がなんらかの機械的な裏当を行なう方法であるのに対し、もっとも簡便な方法として裏当を使わない方法である。

この場合には、溶湯の流れ落ちることを防ぐ力が、溶湯と被溶接材との間の界面張力と、溶湯自身の表面張力であり、これらの力のバランスの上に裏波ビードを形成しようとするものである。したがって一般的にいってこの方法は前記の各裏当方法よりも技術的にむずかしく、大熱量の溶接は困難である。

2-2-1 ガス溶接による方法 開先のルートを酸素アセチレン焰で溶融しながら、その部分へ溶加材を溶融せしめることによって溶着してゆく方法で、一般に後進溶接法と呼ばれる技術が用いられる。この場合はルート部の溶融状態を見ながら火焰の当て方を加減して溶込みを調節するテクニックが主体である。このガス火焰による裏波溶接方法は古くから小径パイプの継手などに用いられており現在も広く使われている。

2-2-2 TIG 溶接による方法 ガス溶接が火熱源とするのに対し TIG 溶接はタングステン電極と被溶接材との間のアーク熱によって開先ルート部を溶融されると同時に溶加材を送給しながらアーク熱で溶着させる方法である。

TIG 溶接はガス溶接に比較して熱がルート部に集中するためガス溶接に比して溶湯が流れ落ちにくく、テクニックは多少容易である。

上記の溶加材を送給する方法以外に、特殊な形状の溶加材を前もってルート部にセットしておく方法がある。この溶加材はインサートと呼ばれ、ルート部とインサートをアークによって溶融することによって容易にきれいな裏波ビードを得ることができる。インサートは裏当金と異なり、これ自体が溶着金属となり、被溶接材との間に不連続を残さない。同様にルートを密着させてこれを

溶融するだけで、溶加材を使わない方法も用いられることがある。これらの方法は一般の鋼管のほか特殊鋼、非鉄金属の溶接に広く応用せられている。

2-2-3 被覆アーク溶接棒による方法 古くから被覆アーク溶接棒による裏波溶接も行なわれているが、そのテクニックは非常にむずかしく、ルート部に溶込み不良とか溶け落ちのような欠陥を生じやすい。これらの点を大幅に改善するために裏波溶接棒と称される特殊な溶接棒が開発され、これによって溶接結果は非常に改善されている。しかし、それでもなおかなりの熟練と、開先精度が要求されている。

2-2-4 機械溶接による方法 以上に述べたところは、マニュアルな溶接方法として用いられることが多いが、機械溶接を利用して裏波ビードを形成する方法として、MIG 溶接（消耗電極式不活性ガスアーク溶接）による方法、炭酸ガスアーク溶接（短絡移行形）による方法などが開発されパイプの溶接などに実用され始めている。

以上、現在用いられている片面溶接方法の主なものを列挙したが、これらの方法は、その用途によって、あるいは事業所の設備によって使い分けられている。

造船工業における平面ブロックの溶接継手に応用する場合を考えると、現在造船工業において多用されているサブマージドアーク溶接を利用して片面溶接を用いるのが一番有利と考えられる。

このような観点から日立造船技術研究所では、特殊なフラックスを使用することによって、裏当を用いなくて溶接を行なう片面自動溶接（サブマージアーク溶接）法を採用する方針で、これに適したフラックスの開発に着手し、現在 NK NV などの船級協会の規定に合格し、その認定されたフラックス製造所としてフラックスを製造するに至っている。

つぎにこのフラックスを使用したサブマージドアーク溶接を行なった結果の概要を述べる。

## 3. 片面溶接用フラックスを用いてのサブマージドアーク溶接

片面溶接を裏当を用いることなく施工しようとするれば、溶接材の裏面での溶融金属、溶融フラックスの表面張力、界面張力のバランスが必要で、この目的に適したフラックスの開発のため多大の研究時数を要したが、最近この目的にかなうフラックスを生産しようとした状態となった。このフラックスを使用して溶接を行なう場合にある程度のルートギャップを設ける必要がある。このルートギャップを設けるのは、裏波溶接棒を使用して手溶接で裏波

を出す運棒方法と同じく、溶接アークをルートギャップの底まで十分出して、ルート面を十分溶融させ融合不良を防止することにあり、この点、従来のいわゆる潜弧（サブマージド）自動溶接とは異なっており、裏面においては、電弧は露出しているわけである。

図2は裏面から、アークの状態と裏波ビードの形成状態とを見たものである。

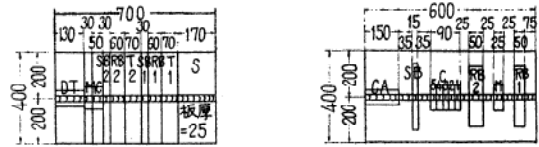


図2 裏面でのアークの状態

この開発したフラックスを用い板厚20mm, 25mmの鋼材に溶接を行ない、継手の機械的性質を調べた結果を述べると次のとおりである。

図3に示す試験板にこのフラックスを用いて初層に裏波を出し、次層以降は市販フラックスを用いて盛上げ溶

接継手を完成し、この試験板から図4に示すような形状の全溶着鋼引張試験片、継手引張試験片、裏曲げ試験片、側曲げ試験片、シャルピー衝撃試験片と肉眼組織試験片を採取してそれぞれの試験を施行した。なお、これらの試験片を採取する前にX線撮影も施行した。試験結果は表1に示すとおりであって、継手強さは完全であり、衝撃値も板厚25mmの軟鋼の場合には3本の平均で0℃における衝撃値が16 kg-m/cm<sup>2</sup>と非常に高い値を示している。試験片の破断状況、曲がり状況などを図5に示した。X線検査の結果も全然欠陥なく、JIS規格の1級に合格す



(注) DT: 全溶着鋼引張試験片  
M: 肉眼組織資料  
C: Vシャルピー衝撃試験片  
S: 予備枚  
SB: 側曲げ試験片  
RB: 裏曲げ試験片  
T: 継手引張試験片

(注) RB: 裏曲げ試験片  
SB: 側曲げ試験片  
M: 肉眼組織資料  
C: シャルピー衝撃試験片  
CA: 化学分析試料

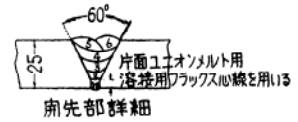
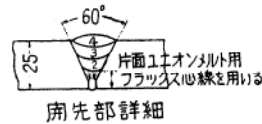
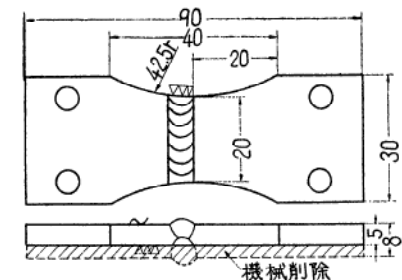


図3 試験片形状

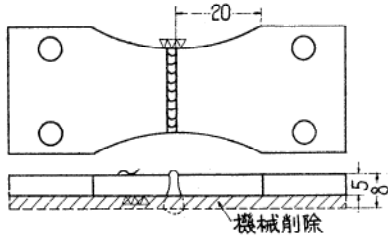
表1 裏波溶接部の機械的性質

鋼種	NKD(MS)	NVE (M.S)	NVH (50HT)
板厚	25 mm	20 mm	20 mm
全溶着鋼引張	r.P=23.1 kg/mm <sup>2</sup> T.S=42.8 " εl=42.4 %	—	—
継手引張	T.S=43.8 kg/mm <sup>2</sup>	—	—
継手裏曲げ	180° good	180° good	180° good
継手側曲げ	180° good	180° good	180° good
シャルピー	E <sub>0</sub> = 16.09 } 平均 17.38 } 16.03 14.63 } kg-m/cm <sup>2</sup>	E <sub>-20</sub> = 12.80 } 13.70 } 平均 14.44 } 14.46 14.88 } 16.50 } kg-m/cm <sup>2</sup>	E <sub>-40</sub> = 5.70 } 5.99 } 平均 6.73 } 6.78 6.78 } 8.74 } kg-m/cm <sup>2</sup>
注1 溶接材料	初層 CA 95×#43 2層以降 PF 800×#43 使用	初層 CA 95×#43 2層以降 MF 38×#47 使用	初層 CA 95×#43 2層以降 YF 15×YCM 使用
注2 シャルピー規格値	E <sub>0</sub> = 6.0 kg-m/cm <sup>2</sup>	E <sub>-20</sub> = 3.5 kg-m/cm <sup>2</sup>	母材 E <sub>-40</sub> = 3.5kg-m/cm <sup>2</sup>





(a) Uニオンマルト溶接部よりの採取要領



(b) 片面Uニオンマルト溶接よりの採取要領

図7 シェンク型平板曲げ疲れ試験片採取要領

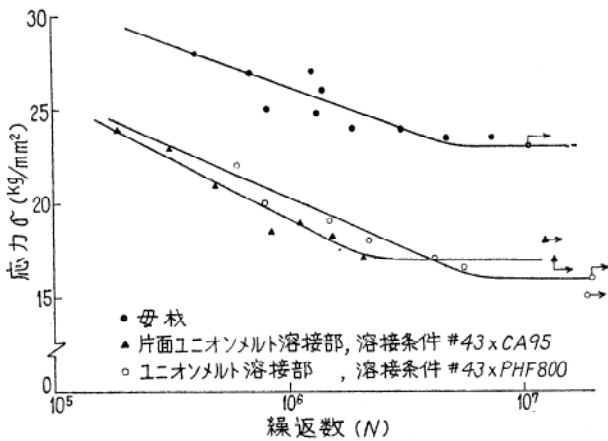


図8 シェンク型平板曲げ疲れ試験結果

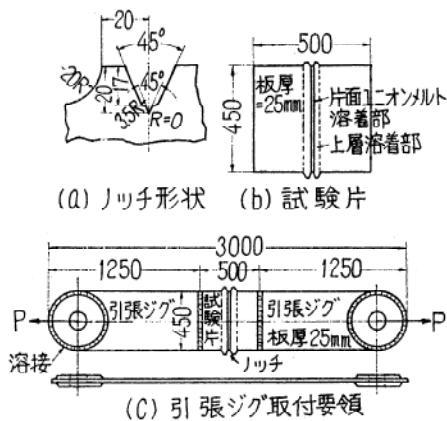


図9 ESSO 試験片形状

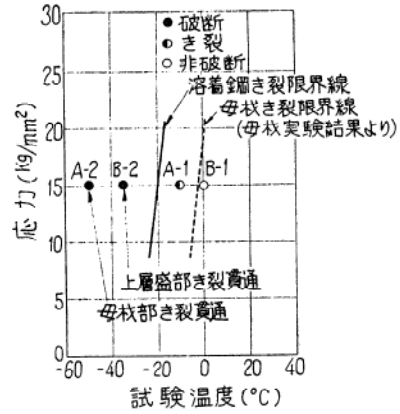


図10 ESSO 試験結果

ち、降伏点の $\frac{1}{2}$ の応力 (15 kg/mm<sup>2</sup>) に相当する荷重をかけた状態で試験片のプレスノッチの部分に、打撃エネルギー400 kg-m でくさびを打込み、この部分にぜい性き裂を発生させ、き裂が試験片全体を貫通するか否かの境界の温度を求めてみた。その結果は図10のようであった。だいたい-20°C程度の温度までであれば(同時に行なった母材の ESSO 試験結果によるとその限界温度はだいたい0°C付近であった。したがってこの継手は母材よりもぜい性破壊に対して安全性が大である) ぜい性き裂が試験片全体を貫通することなく、このフラックスを用いて溶接した継手はぜい性破壊の面からみても十分安全に使用しうるものであることを実証し得た。

#### 4 あとがき

以上述べたように日立造船技術研究所では、特殊な片面溶接に適したフラックスを用いてサブマージドアーク溶接を行なう方法を見出し、この目的に適したフラックスの開発に成功した。このフラックスは現在、日本はもちろん、アメリカ、イギリス、ノルウェー、フランス、スウェーデン、西ドイツ、イタリア、デンマークなどの諸国に特許出願中である。また船級協会の承認試験を現在 NV ではE級鋼用として承認済みで NV ではE, G, H級鋼用として承認済みであり、したがって、軟鋼の全鋼種すなわちA, B, C, DおよびE級鋼種ならびに50 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼の全鋼種すなわちF, GおよびH級鋼種のすべてに使用できる。なお今後 AB, LR, などの承認試験も順次受験する予定である。

最後にこの研究に当り種々有益なご助言、ご厚情を戴いた阪大、寺沢教授、大阪府立大学、山内教授、日本海事協会の佐藤博士、賀来技師、吉見技師ならびに、NV 協会石黒技師に厚く感謝の意を表します。