

# フラックス入りワイヤによる上向溶接の自動化技術

## New Automatic Welding Technology by Using a Flux Cored Wire in Overhead Position

小山耕一/Koichi Koyama・住金溶接工業(株) 技術部 担当課長

塚本宗安/Muneyasu Tukamoto・住金溶接工業(株) 技術部 部長

中村雅敏/Masatoshi Nakamura・住金溶接工業(株) 機器部 部長

### 要 約

上向溶接は最も熟練を必要とする溶接の一つであり、自動化・ロボット化が困難とされていた領域である。新しく開発した上向溶接用フラックス入りワイヤと内蔵ソフトウェアを改良した可搬走行型多層盛溶接ロボットを組み合わせることにより、上向溶接の自動化を可能にした。

### Synopsis

Full and economic application of automatic equipment or robots to overhead position welding is very rare.

Newly developed  $\clubsuit$ SD wire series flux cored wires have now enabled highly efficient automatic welding operation in the overhead position in combination with the SD-ROBO W4410, a portable multi-pass arc welding robot in which improved software has been installed.

## 1. 緒 言

近年、自動機およびロボットによる溶接の自動化は、自動車、建設機械、車両などの業種を中心に目ざましい勢いで拡大してきた。最近では、特にロボットによる溶接の自動化が進んでおり、労働力の不足、特に熟練溶接工の不足により、更に加速されるものと考えられる。

船底外板あるいは橋梁の箱桁およびI桁の下フランジの現場溶接などで適用される上向溶接は、最も熟練を必要とする溶接の一つであり、従来より自動化が困難とされていた領域である。

水平固定管の溶接には、細径のソリッドワイヤを用いた自動化が一部図られているが、高電流で施工できない、裏波ビードの形状が悪いなどの問題点を有している。

そこで、本稿では、比較的高電流で全姿勢溶接が可能なフラックス入りワイヤを用いた上向溶接の自動化の検討を行い、上向溶接用フラックス入りワイヤ( $\clubsuit$ SDワイヤシリーズ)の開発と可搬走行型多層盛溶接ロボット(SD-ROBO W4410)の内蔵ソフトウェアの改良により、上向溶接の自動化技術を確立した。

## 2. 上向溶接用フラックス入りワイヤ( $\clubsuit$ SDワイヤシリーズ)の開発

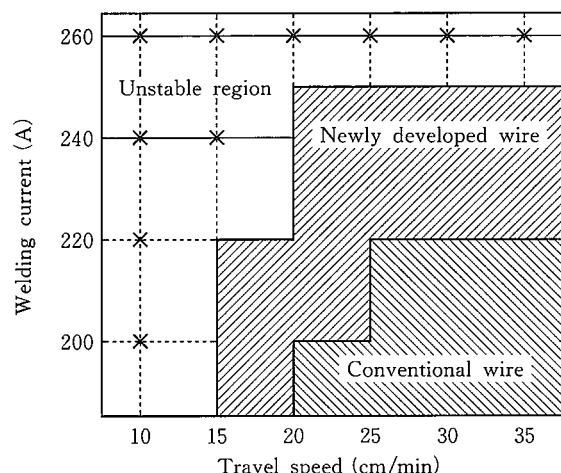
上向溶接では、重力に逆らって溶滴が移行して溶接金属となるため、良好な溶接ビードを得るにはいかに溶接金属が垂れないかが課題となる。また、上向姿勢の多層盛溶接の場合には、溶接ノズルにスパッタが付着し、シールド不良によるピット、ブローホールなどの溶接欠陥が発生し易いという問題がある。

そこで、上記課題および問題点を解決するために、内包フラックス中のスラグ形成剤およびアーク安定剤の種類、配合比率などについて種々検討を行い、従来ワイヤに比べ、溶接金属が垂れにくく、スパッタ発生量の少ない上向溶接用フラックス入りワイヤを開発した。

開発ワイヤは従来ワイヤに比べ  $\text{TiO}_2$ を増やし、 $\text{SiO}_2$ および  $\text{ZrO}_2$ を少なくすることにより、溶接金属を垂れにくくした。あわせて、アルカリ金属酸化物を増やすことにより、スパッタ発生量を少なくした。

シールドガスについては、100%  $\text{CO}_2$ に比べてスパッタ発生量の少ない、80%  $\text{Ar}$ +20%  $\text{CO}_2$ 混合ガスを使用することとした。

第1図に開発ワイヤおよび従来ワイヤの溶接金属の垂れ落ちが発生しない適正溶接条件範囲(ストリングビード)を示す。開発ワイヤは従来ワイヤに比べ、適正溶接条件範



第1図 適正溶接条件範囲（ワイヤ径：1.2mmφ，ストリンガビード）  
Fig.1 Suitable conditions for overhead position welding  
(Diameter: 1.2mmφ, Stringer bead)

囲が広く、上向溶接の条件としては高電流である250Aにおいても、溶接金属の垂れ落ちがないので高能率溶接が可能である。

本開発ワイヤは、◆SDワイヤとしてシリーズ化を図っており、軟鋼・490N/mm<sup>2</sup>級および570N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼用ならびに、軟鋼・490N/mm<sup>2</sup>級および570N/mm<sup>2</sup>級耐候性鋼用の4鋼種について製品化を完了した。

◆SDワイヤシリーズの溶接作業性上の特徴を以下に示す。

- ① 80% Ar+20% Co<sub>2</sub>混合ガス用の全姿勢フラックス入りワイヤである。
- ② アークが安定しており、スパッタが極めて少ない。
- ③ ビード外観、形状およびスラグ剥離性が良好である。
- ④ 高電流で全姿勢溶接ができるので、高能率な溶接施工が可能である。
- ⑤ 特に、上向姿勢での溶接作業性が優れており、片面溶接で良好な裏波ビードが得られる。

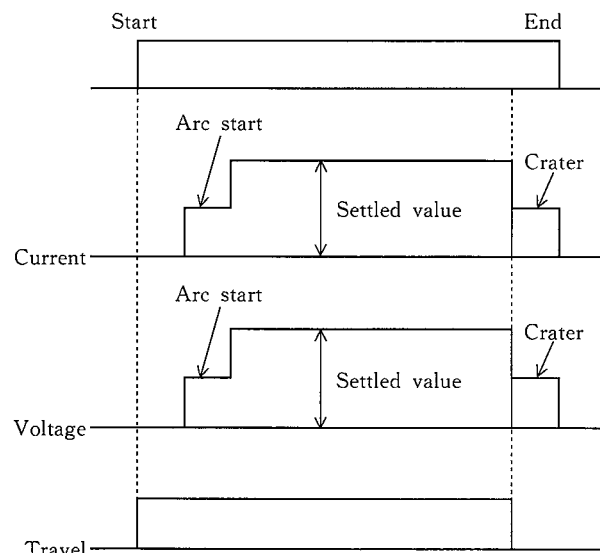
第1表に◆SDワイヤシリーズの溶着金属の機械的性質の一例を示す。各ワイヤ全て該当 JIS 規格を十分に満足する性能を有している。

### 3. 可搬走行型多層盛溶接ロボット (SD-ROBO W4410) の改良

上向溶接の自動化を図るためには、特にアークスタート時において、アークをスムーズに発生させ、溶接金属の垂れ落ちがない良好なビードを形成させることが重要な課題である。そのために、独自の多層盛溶接アルゴリズムと標準溶接条件を内蔵した可搬走行型多層盛溶接ロボット SD-ROBO W4410の内蔵ソフトウェアの改良を行った。第2図に示すように、アーク発生時の溶接電流およびアーク電圧を設定値より一定時間低くなるように、かつ、ロボット起動時にアークを発生させるのではなく、ロボットが一定距離を走行した後にアークを発生させる（ランニングスタート方式）ように内蔵ソフトウェアを改良した。

このことによって、アークスタート時の溶接金属の垂れ落ちが防止され、◆SDワイヤシリーズとの組み合わせにより、高能率な上向溶接の自動化が可能となった。

SD-ROBO W4410の特徴を第2表に、外観を写真1に示す。



第2図 SD-ROBO W4410の内蔵ソフトの改良  
Fig.2 Improvement of internal software for SD-ROBO W4410

第1表 ◆SDワイヤシリーズの溶着金属の機械的性質一例

Table 1 Typical mechanical properties of deposited metal of ◆SD wire series

銘柄 (該当JIS)	対象鋼種	0.2%耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	吸収エネルギー (J)	
					vE <sub>0</sub>	vE <sub>5</sub>
◆SD-50A (JIS Z 3313 YFW-A50DR)	軟鋼および490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	530	560	28	114	—
◆SD-60A (JIS Z 3313 YFW-A60FR)	570N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	570	620	26	—	121
◆SD-CR2MA (JIS Z 3313 YFW-A50GR)	軟鋼および490N/mm <sup>2</sup> 級耐候性鋼	540	580	27	95	—
◆SD-CR58A (JIS Z 3313 YFW-A60GR)	570N/mm <sup>2</sup> 級耐候性鋼	600	650	24	—	88

第2表 SD-ROBO W4410の特徴  
Table 2 Characteristics of SD-ROBO W4410

項 目	特 徴
簡単な操作・教示	①カラーCRT画面との日本語対話入力 ②マイコンによる溶接施工条件の自動演算と登録 ③溶接施工条件の修正および編集が極めて容易 ④簡単な溶接線の教示 (PTP教示とC P再生) ⑤ラフなレールのセッティング
幅広い適用性	①開先深さ99mmまでの連続多層溶接が可能 ②多様な開先形状に対応 (レ型・V型突合せおよび水平すみ肉溶接、裏波溶接など) ③豊富な積層パターン (一層一パス、一層多パス、溶接途中からの積層モード) ④いろいろな溶接法との組み合わせ (1.2φ・1.4φのソリッドワイヤ、フラックス入りワイヤによるマグ溶接) ⑤多くのバリエーションを持ったロボット本体 (横向き仕口溶接用、コンパクトタイプ、外部機器組込みタイプ、円形構造物用など)
多彩な機能	①不連続に置かれた溶接物を一度のティーチングで実行可能 ②自動運転中にも電流、電圧、速度、ウィービング幅、狙い位置などリアルタイムに修正可能 ③炭素鋼以外にも適用可能 (SUS, Alなど) ④曲線部の溶接にも適用可能
優れた可搬性	①小型軽量 (18kg) で手軽に持ち運び可能 ②広い行動範囲 (最大: 8 m)
その他	①溶接中のモニタリングが可能 ②溶接条件入力ミス、溶接異常などの自己診断機能 ③溶接施工条件のプリントアウトが可能



写真1 SD-ROBO W4410の外観  
Photo 1 Appearance of SD-ROBO W4410

#### 4. ◆SDワイヤシリーズとSD-ROBO W4410による突合せ継手試験結果

##### 4-1 試験方法

供試ワイヤとして◆SD-50A (1.2mmφ) および◆SD-60A (1.2mmφ) を使用し、それぞれ、第3図、第3表および第4図、第4表に示す試験板および溶接条件でSD-ROBO W4410を用いて溶接試験を実施した。

第3表 ◆SD-50Aの溶接条件 (上向姿勢)  
Table 3 Welding conditions of ◆SD-50A (Overhead position)

パスNo.	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	溶接入熱 (kJ/cm)	ウィービング条件		
					幅(mm)	速度 (mm/s)	両端停止時間(s)
1	150	18	8.5	19.1	4	5.0	0.1
2	200	23	17.0	16.2	6	20.0	0.3
3	200	23	13.0	21.2	8	20.0	0.3
4	200	23	12.0	23.0	9	20.0	0.3
5	200	23	11.0	25.1	10	20.0	0.3
6	200	23	9.0	30.7	13	20.0	0.3

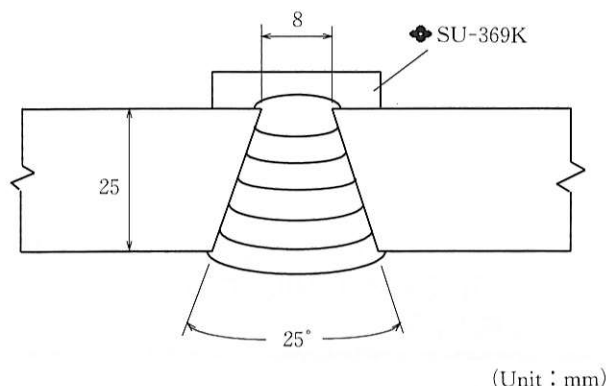
- 注 (1) ワイヤ突出し長さ : 15mm  
 (2) トーチ角度 : 後退角 17°  
 (3) シールドガスおよび流量 : 80%Ar+20%CO<sub>2</sub>, 25ℓ/min  
 (4) パス間温度 : 200°C以下

第4表 ◆SD-60Aの溶接条件（上向姿勢）

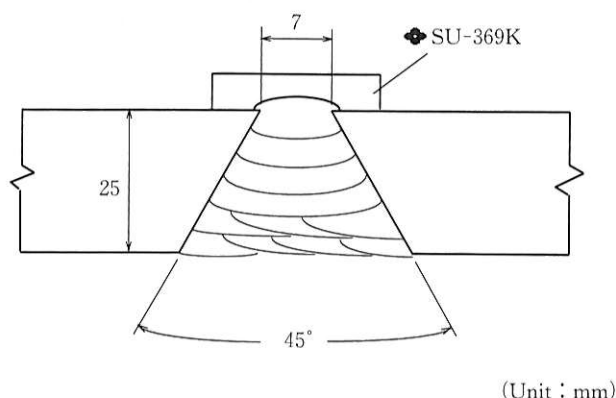
Table 4 Welding conditions of ◆SD-60A (Overhead position)

パスNo.	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	溶接入熱 (kJ/cm)	ウィービング条件		
					幅(mm)	速度(mm/s)	両端停止時間(s)
1	140	14	6.5	18.1	5	5.0	0.1
2	200	22	14.0	18.9	7	20.0	0.3
3	200	22	11.0	24.0	10	20.0	0.3
4	200	21	9.0	28.0	14	20.0	0.3
5	200	22	27.0	9.8	0	—	—
6	200	22	27.0	9.8	0	—	—
7	200	21	13.0	19.4	6	20.0	0.3
8	200	22	26.0	10.2	0	—	—
9	200	22	27.0	9.8	0	—	—
10	200	22	27.0	9.8	0	—	—
11	200	22	32.0	8.3	0	—	—

- 注(1) ワイヤ突出し長さ : 15mm  
 (2) トーチ角度 : 後退角 17°  
 (3) シールドガスおよび流量 : 80%Ar+20%CO<sub>2</sub>, 25ℓ/min  
 (4) パス間温度 : 200℃以下



第3図 試験板の開先形状および積層法 (◆SD-50A)  
 Fig. 3 Groove shape and pass sequence of test plate (◆SD-50A)



第4図 試験板の開先形状および積層法 (◆SD-60A)  
 Fig. 4 Groove shape and pass sequence of test plate (◆SD-60A)

## 4-2 試験結果

第5表に、◆SD-50Aの溶接継手の機械試験結果を示す。◆SD-50Aの溶接金属の引張性能 (490N/mm<sup>2</sup>以上)、衝撃性能 (0℃で47J以上) および曲げ性能はすべて良好であった。

また、写真2および写真3に裏波ビード外観および断面マクロの一例を示す。セラミック製裏当材◆SU-369Kを用いた片面上向溶接であるが、適正な余盛の裏波ビードが得られた。

第6表に◆SD-60Aの溶接継手の機械試験結果を示す。◆SD-60Aの溶接金属の引張性能 (570N/mm<sup>2</sup>以上)、衝撃性能 (-5℃で47J以上) および曲げ性能はすべて良好であった。

この組み合わせは第2東名、名神高速道路のI桁現場溶接の上向溶接への適用が期待される。

第5表 ◆SD-50Aの溶接継手の機械試験結果

Table 5 Mechanical test results of weld joint of ◆SD-50A

継手引張試験		衝撃試験 <sup>1)</sup>	
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	破断位置	vE <sub>0</sub> (J)	側曲げ試験
523	母材	78 74	無欠陥
522	母材	97 83 83 Ave.83	無欠陥

1) シャルピー衝撃試験片

採取位置 : 板厚表面より T/4 (T: 板厚)  
 ノッチ位置 : ビード中央

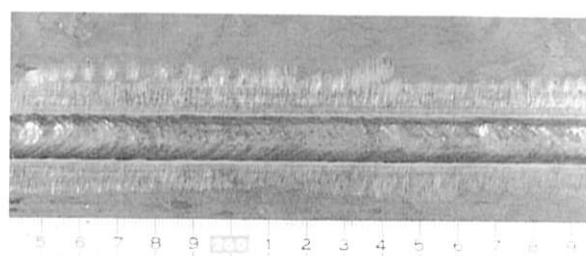


写真2 裏波ビード外観の一例  
 Photo 2 Penetration bead appearance

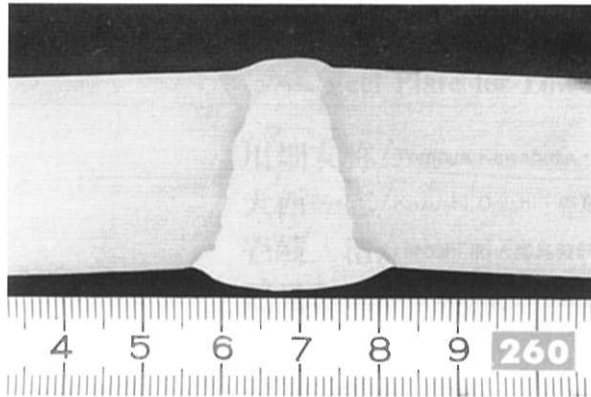


写真3 断面マクロの一例

Photo 3 Macrostructure of cross section

第6表 ◆SD-60Aの溶接継手の機械試験結果

Table 6 Mechanical test results of weld joint of ◆SD-60A

継手引張試験		衝撃試験 <sup>1)</sup>	側曲げ試験
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	破断位置	vE <sub>5</sub> (J)	
638	母材	107	無欠陥
		121	
		121	
640	母材	111	無欠陥
		110	
		Ave.114	

1) シャルピー衝撃試験片

採取位置 : 板厚表面より T/4 (T : 板厚)

ノッチ位置 : ビード中央

## 5. 鉄骨構造物における柱一梁仕口部の上向溶接施工例

柱一梁接合部の溶接については従来、工場内であらかじめ柱に梁を溶接し、現場では梁と梁を溶接するのが一般的であった。しかしながら、最近では現場建て方時に柱と梁を溶接する方法が採用されてきている。

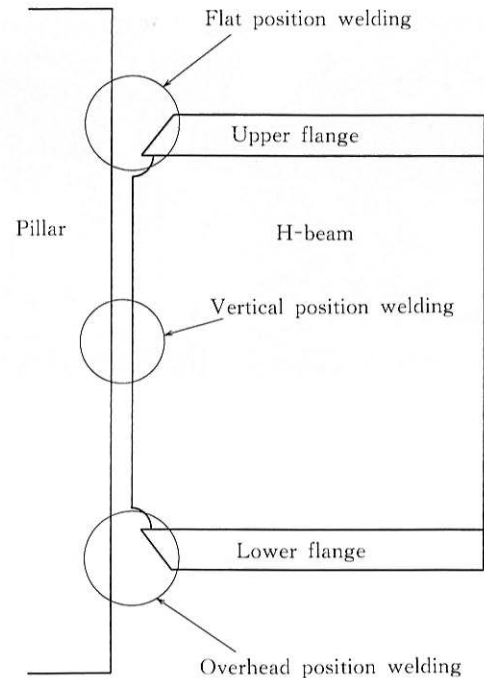
以下に、H型鋼梁の下フランジにおける◆SD-50AとSD-ROBO W4410の組み合わせによる上向溶接の適用例を示す。第5図に柱一梁仕口部の模式図、第7表に上向溶接の施工条件を示す。また、写真4および写真5に上向溶接のビード外観および断面マクロの一例、写真6に上向溶接状況を示す。

溶接電流240Aでも溶接金属の垂れのない良好なビードが得られている。

第7表 上向溶接施工条件

Table 7 Welding conditions of overhead position

溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	ウィービング幅 (mm)
200	24	14	5
～	～	～	～
240	26	35	8



第5図 柱一梁仕口部の模式図

Fig. 5 Schematic figure of pillar and H-beam joint

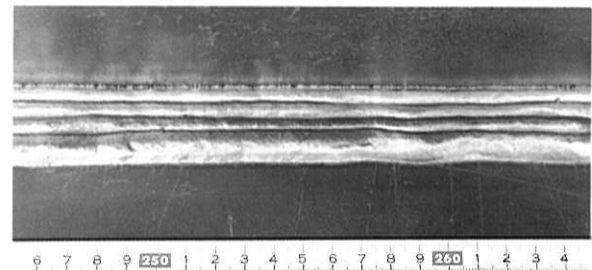


写真4 上向溶接のビード外観

Photo 4 Weld bead appearance of overhead position welding

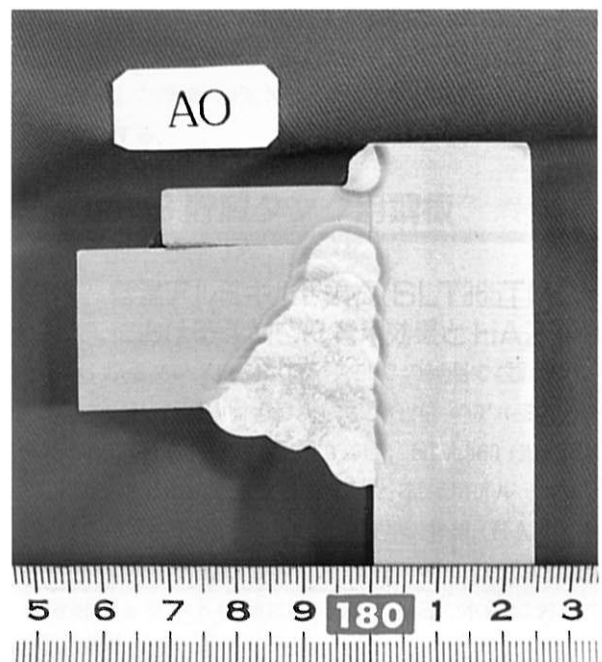


写真5 断面マクロの一例

Photo 5 Macrostructure of cross section

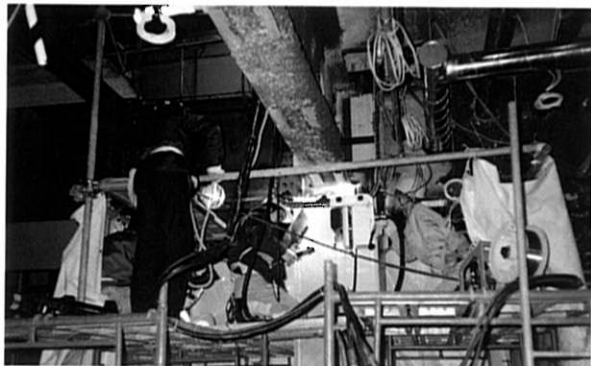


写真 6 上向溶接状況

Photo 6 Example of overhead position welding

## 6. 結 言

上向溶接用フラックス入りワイヤとSDワイヤシリーズの開発と内蔵ソフトウェアを改良した可搬走行型多層盛溶接ロボット SD-ROBO W4410の組み合わせより、これまで困難とされていた上向溶接の自動化が可能となった。本技術は上向溶接の自動化の適用拡大に十分貢献できるものと確信する。

今後も労働力不足を背景に溶接の自動化・ロボット化のニーズは更に強まっていくと考えられるが、それらのニーズにこたえるよう取り組んでいきたい。



小山 耕一 / Koichi Koyama

住金溶接工業(株) 技術部  
担当課長

(問合せ先：0471(31)3233)

## 参考文献

1) 中村雅俊：日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）1997年9月，p.971-972

2) 塚本宗安：特殊鋼，Vol. 46 No.11 p.36-37