

# パルスMAG溶接に関する研究

## —ステンレス鋼板のパルスアーク 溶接の溶接条件に関する研究—

森田 春美 瀬戸口正和

### 1. はじめに

前報（昭和59年度版）では、軟鋼板についてガスの違い、パルス電流の有無による溶接性の比較実験を行った。

今回は、ステンレス鋼板についてガスの違い、パルス電流の有無による溶接性の比較実験を行ったので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2-1 実験装置

実験に使用した溶接機は、N社製トランジスタ式パルスMAG溶接機（定格350A）である。この方式では安定な1パルス1溶滴移行を実現するため溶接電流すなわちワイヤ送給速度に応じてパルス周波数は自動調整され溶滴径をほぼ一定に保っている。図1に平均溶接電流とパルス周波数の関係を示す。

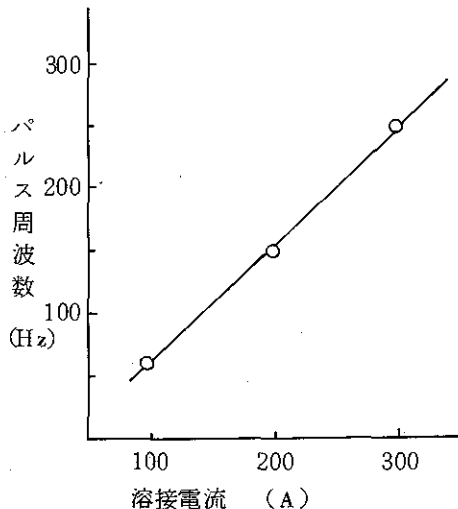


図1 平均溶接電流とパルス周波数の関係（メーカー提供）

ス周波数の関係を示す。

また、手ぶれなどによるアーク長やワイヤ突出し長さの変動に対しても自動的に一定のアーク長を保つように制御されており、溶接条件の設定が容易である。

溶接速度、トーチ保持角度等の設定は写真1に示すようにT社製自動走行台車を改造したものを使用した。

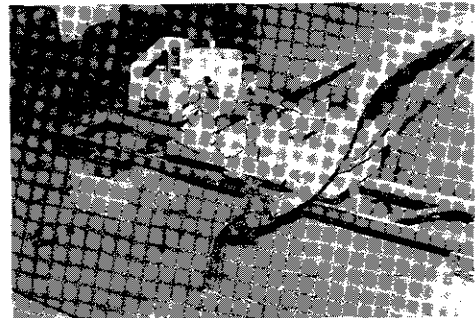


写真1 走行台車

#### 2-2 実験材料

実験に使用した試験片は、板厚6mmのSUS304材。ソリッドワイヤは、N社製のJIS-Y308相当品でワイヤ径1.2mmφ。シールドガスには、Ar(100%)、Ar+O<sub>2</sub>(2%)、Ar+CO<sub>2</sub>(5%)をそれぞれ用いた。

#### 2-3 実験の種類

実験は、Ar(100%)、Ar+O<sub>2</sub>(2%)、Ar+CO<sub>2</sub>(5%)の各ガスにおいてそれぞれパルス電流を入れた場合と入れない場合の6溶接法

について下向きビードオンプレート溶接を行い各溶接電流値において溶接電圧を変化させたときの溶込み深さ、余盛高さ、ビード幅およびスパッタ等におよぼす影響について検討を行った。また、各溶接電流値において最も適切と思われる溶接電圧を設定し、溶接速度を変化させたときの溶込み深さ、余盛高さ、ビード幅についても検討した。

図2に供試材の寸法および試験片採取位置を示す。

#### 2-4 溶接条件

溶接電圧を変化させた場合の溶接条件を表1に示す。また、溶接速度を変化させた場合の溶接条件を表2に示す。

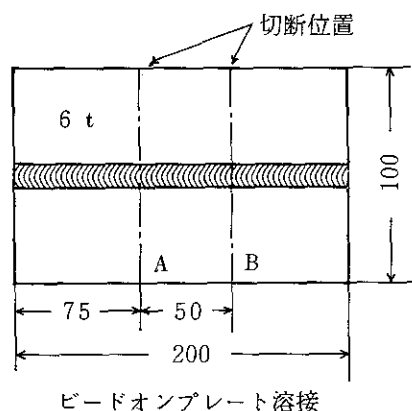


図2 試験片採取位置

表1 溶接条件 (溶接電圧を変化させた場合)

| 溶接姿勢                   | 使用ガス名                     | パルス電流の有無 | 溶接電流(A)                    | 溶接電圧(V) | 溶接速度(mm/min) | トーチ押角度(°) | ワイヤ突出長さ(mm) | ガス流量(l/min) |
|------------------------|---------------------------|----------|----------------------------|---------|--------------|-----------|-------------|-------------|
| 下向き<br>ビードオン<br>プレート溶接 | Ar<br>(100%)              | 無        | 100                        | 13~21   | 400          | 15        | 15          | 20          |
|                        |                           |          | 150                        | 16~24   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 200                        | 22~30   |              |           |             |             |
|                        |                           | 有        | 100                        | 18~26   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 150                        | 23~30   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 200                        | 27~32   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 250                        | 31~36   |              |           |             |             |
|                        | Ar+O <sub>2</sub><br>(2%) | 無        | 100                        | 11~19   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 150                        | 14~22   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 200                        | 17~25   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 240                        | 23~30   |              |           |             |             |
|                        |                           | 有        | 100                        | 16~24   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 150                        | 20~28   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 200                        | 23~31   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | 250                        | 25~33   |              |           |             |             |
|                        |                           |          | Ar+CO <sub>2</sub><br>(5%) | 無       |              |           |             |             |
|                        | 150                       | 14~22    |                            |         |              |           |             |             |
|                        | 200                       | 17~25    |                            |         |              |           |             |             |
|                        | 240                       | 23~30    |                            |         |              |           |             |             |
|                        | 有                         | 100      |                            | 17~25   |              |           |             |             |
|                        |                           | 150      |                            | 21~29   |              |           |             |             |
|                        |                           | 200      |                            | 23~31   |              |           |             |             |
|                        |                           | 250      |                            | 25~33   |              |           |             |             |

※ 溶接電圧は、2Vおきに5種類設定 (ただし、溶接機の性能上、上限電圧に達したものは1Vの差しかない)

表2 溶接条件 (溶接速度を変化させた場合)

| 溶接姿勢                   | 使<br>ガ ス                  | 用<br>名 | パルスを電<br>流の有無              | 溶 接<br>電 流(A) | 溶 接<br>電 圧(V) | 溶 接 速 度<br>(mm/min)               | トーチ押<br>角度(°) | ワイヤ突出<br>し長さ(mm) | ガス流量<br>(ℓ/min) |
|------------------------|---------------------------|--------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------------------------|---------------|------------------|-----------------|
| 下向き<br>ビードオン<br>プレート溶接 | Ar<br>(100%)              | 無      |                            | 100           | 17            | 各電流値に<br>おいて<br>300<br>400<br>500 | 15            | 15               | 20              |
|                        |                           |        |                            | 150           | 20            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 200           | 26            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           | 有      |                            | 100           | 22            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 150           | 27            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 200           | 31            |                                   |               |                  |                 |
|                        | Ar+O <sub>2</sub><br>(2%) | 無      |                            | 250           | 35            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 100           | 15            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 150           | 18            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 200           | 21            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           | 有      |                            | 240           | 27            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 100           | 20            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 150           | 24            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 200           | 27            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 250           | 29            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        | Ar+CO <sub>2</sub><br>(5%) | 無             |               | 100                               |               |                  |                 |
|                        |                           | 150    |                            |               | 18            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           | 200    |                            |               | 21            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           | 240    |                            |               | 27            |                                   |               |                  |                 |
|                        | 有                         |        |                            | 100           | 21            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 150           | 25            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 200           | 27            |                                   |               |                  |                 |
|                        |                           |        |                            | 250           | 29            |                                   |               |                  |                 |

### 3. 実験結果と考察

本実験では、経済性、高能率性の検討および溶接条件の適正化を図るために各溶接法における溶接条件の違いとビード表面形状およびビード断面形状について検討を行った。

#### 3-1 ビード表面形状

各溶接法によるビード表面を写真2に示す。まず、ガスの違いでみるとAr(100%)の場合、パルス電流が無いと100Aと低い電流においてはビードが形成されず溶接できなかったが、O<sub>2</sub>やCO<sub>2</sub>が入った混合ガスの場合、低い電流でも溶接可能となった。O<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>ではビードの形状に差はないが、O<sub>2</sub>の方が多少スパッタの付着が多いようである。つぎにパルス電流を入れた

場合、低電流で溶接できなかったAr(100%)のガスでもビードが形成され、混合ガスのビードも大きくなっており、全体的にパルス電流が無い場合に比べ50A高い電流のときの溶接に近いようである。また、スパッタの付着もほとんどない。

つぎに溶接速度を変化させても傾向は、同様の結果が得られた。パルス電流を入れた場合、500mm/minと速い溶接速度でもワイヤ溶融速度が速いため十分溶接可能である。写真3にAr+O<sub>2</sub>(2%)のガスでパルス電流を入れた場合に溶接速度を変化させたものを示す。

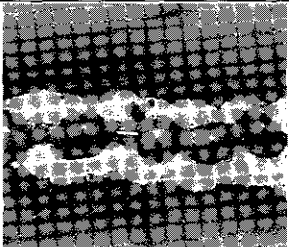
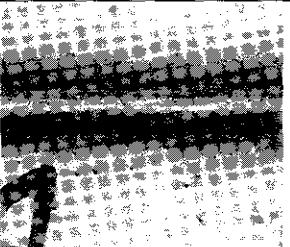
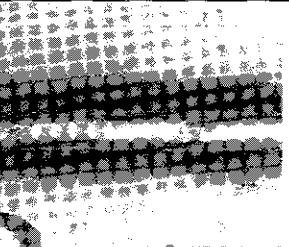
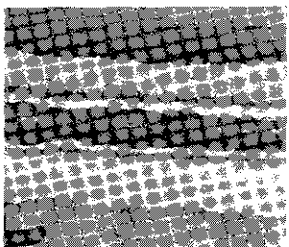
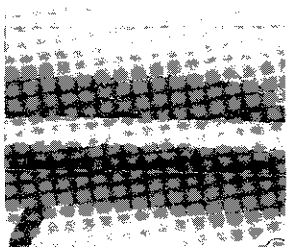
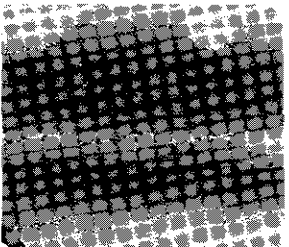
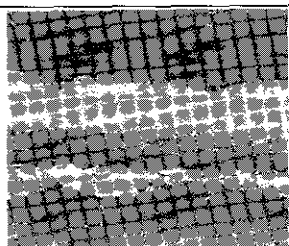
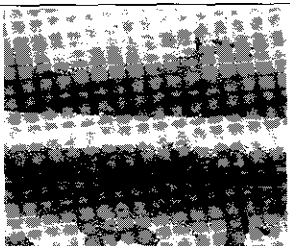
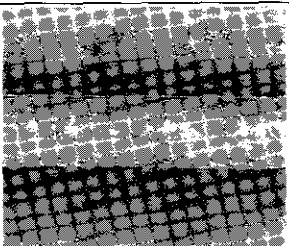
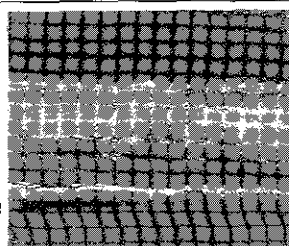
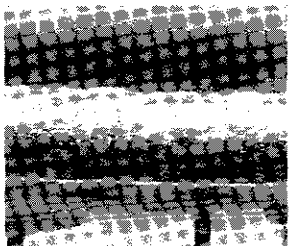
| 使 用 ガ ス      |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| パルス電流<br>の有無 | Ar (100%)                                                                           | Ar+O <sub>2</sub> (2%)                                                              | Ar+CO <sub>2</sub> (5%)                                                              |
| 無            |    |    |    |
|              | 電流 = 100 A , 電圧 = 17 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 100 A , 電圧 = 15 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 100 A , 電圧 = 15 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
| 有            |    |    |    |
|              | 電流 = 100 A , 電圧 = 22 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 100 A , 電圧 = 20 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 100 A , 電圧 = 21 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
| 無            |  |  |  |
|              | 電流 = 200 A , 電圧 = 26 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 200 A , 電圧 = 21 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 200 A , 電圧 = 21 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
| 有            |  |  |  |
|              | 電流 = 200 A , 電圧 = 31 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 200 A , 電圧 = 27 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 200 A , 電圧 = 27 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |

写真2 ビード表面の写真

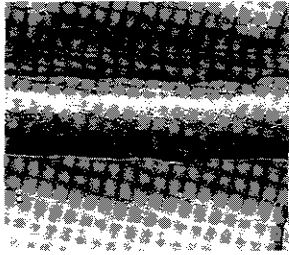
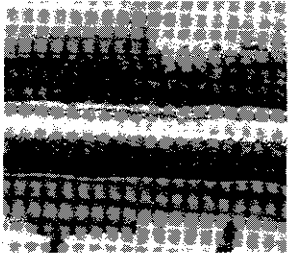
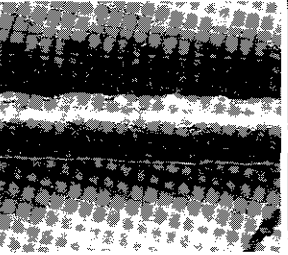
| 使用ガス                        | 溶 接 速 度                                                                           |                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | 300 mm/min                                                                        | 400 mm/min                                                                        | 500 mm/min                                                                         |
| Ar + O <sub>2</sub><br>(2%) |  |  |  |
|                             | 電流 = 150 A, 電圧 = 24 V<br>パルス電流有り                                                  | 電流 = 150 A, 電圧 = 24 V<br>パルス電流有り。                                                 | 電流 = 150 A, 電圧 = 24 V<br>パルス電流有り。                                                  |

写真3 ビード表面の写真（溶接速度を変化させた場合）

### 3-2 ビード断面形状

各溶接法によるビード断面のマクロを写真4に示す。まず、ガスの違いでみるとAr(100%)が溶込みの浅い平底形で凸形のビードになっており混合ガスでは低電流を除けば中央深溶込み形で止端部のなめらかなビードになっている。つぎに、パルス電流を入れた場合、Ar(100%)のガスでも溶込みは浅いものの止端部のなめらかなビードになっている。混合ガスでは中央部

がより深い中央深溶込み形でビード幅の広いなめらかなビードになっている。混合ガスでもO<sub>2</sub>(2%)の方は、止端部近傍はさほど溶込んでいないのに中央部が極端に深い中央深溶込み形に対し、CO<sub>2</sub>(5%)の方は、止端部から中央へ徐々に溶込んだ中央深溶込み形でO<sub>2</sub>(2%)よりCO<sub>2</sub>(5%)の方が、溶融面積は大きいようである。

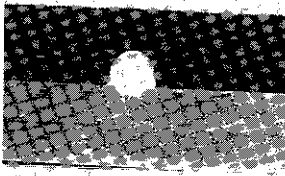
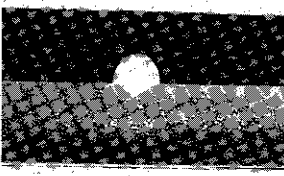
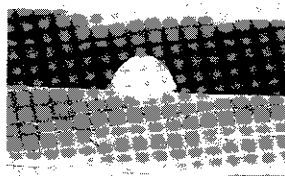
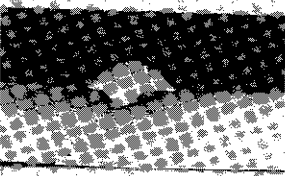
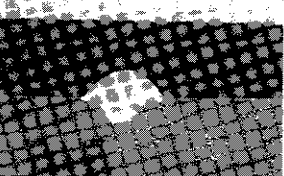
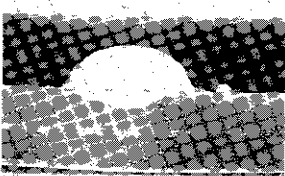
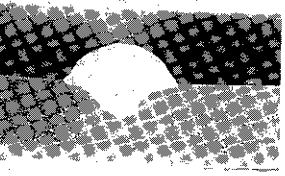
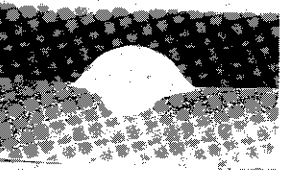
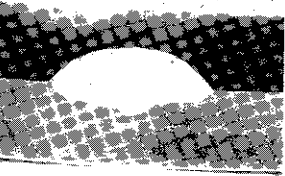
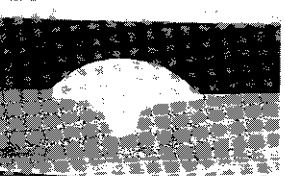
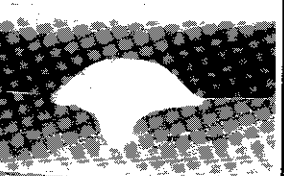
| 使 用 ガ ス       |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| パルス電流<br>の有 無 | Ar (100%)                                                                           | Ar+O <sub>2</sub> (2%)                                                              | Ar+CO <sub>2</sub> (5%)                                                              |
| 無             | 溶接できず                                                                               |    |    |
|               | 電流 = 100 A , 電圧 = 17 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 100 A , 電圧 = 15 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 100 A , 電圧 = 15 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
| 有             |    |    |    |
|               | 電流 = 100 A , 電圧 = 22 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 100 A , 電圧 = 20 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 100 A , 電圧 = 21 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
| 無             |  |  |  |
|               | 電流 = 200 A , 電圧 = 26 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 200 A , 電圧 = 21 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 200 A , 電圧 = 21 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
| 有             |  |  |  |
|               | 電流 = 200 A , 電圧 = 31 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 200 A , 電圧 = 27 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 200 A , 電圧 = 27 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |

写真 4 ビード断面のマクロ写真

つぎに、各溶接法によるビード断面の溶込み深さ、余盛高さ、ビード幅の測定結果を図3および4に示す。グラフから分かるように溶込み深さについては、Ar(100%)のガスが浅く、

混合ガスの方が深くなっている。パルス電流を入れた場合も同様である。余盛高さとビード幅についてもAr(100%)のガスが余盛が高く幅の狭い凸形のビードになっている。

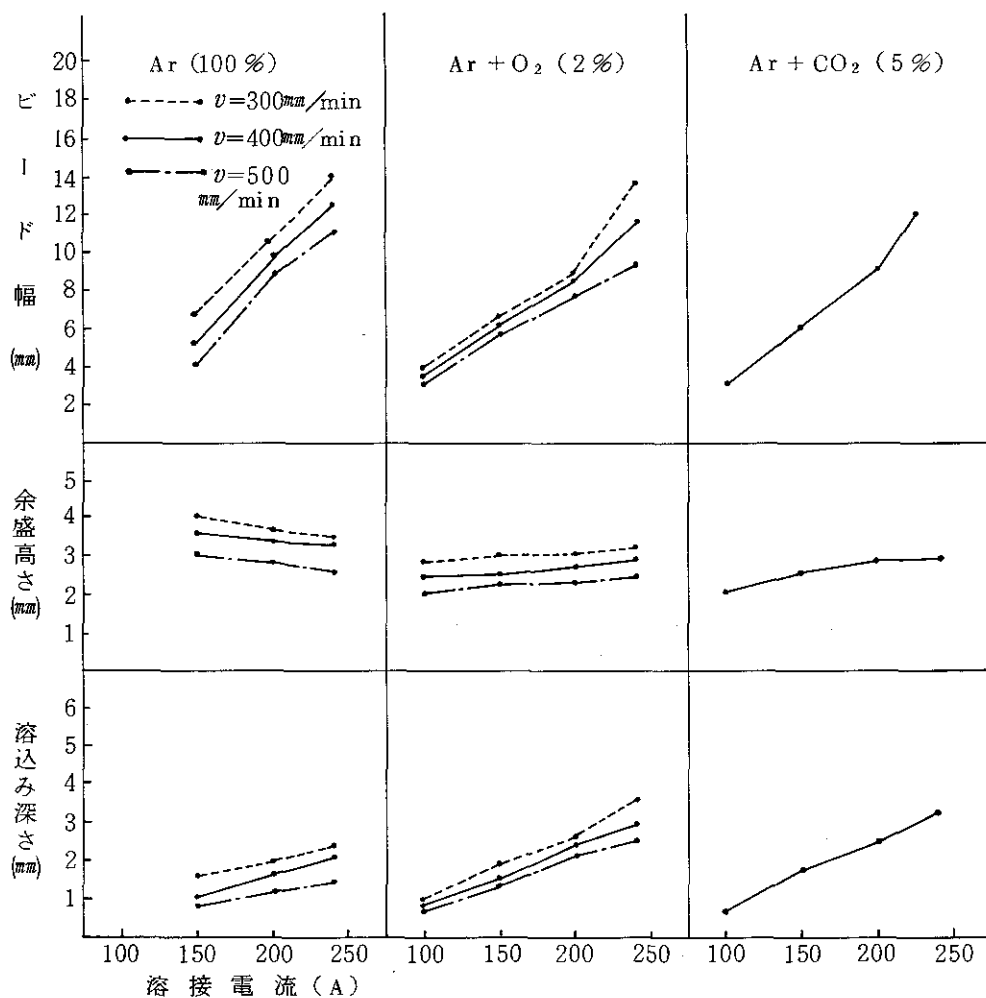


図3 ビード断面形状の比較 (パルス電流無し)

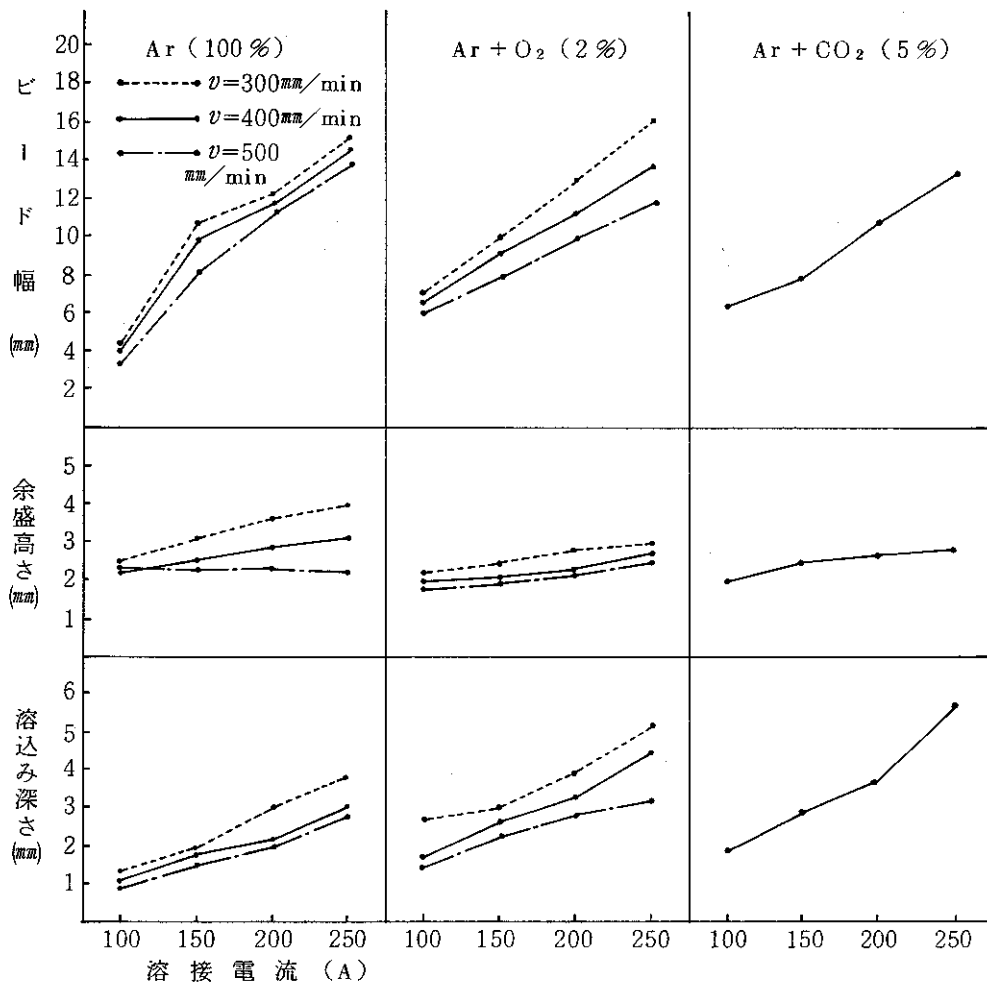


図4 ビード断面形状の比較 (パルス電流有り)

### 3-3 溶接電圧の影響

溶接電圧を変化させたときのビード断面のマクロを写真5に示す。写真から分かるように溶接電圧を下げると極端な凸形ビードになりオーバーラップを生じてしまう。また、溶込み深さも浅くなっている。他の文献等によれば、溶接電圧が下がるとビードは凸形になるが溶込みは

深くなるはずだが、今回の実験では溶込みは浅くなっており、これは、溶接電流に対して溶接電圧が低すぎて溶接条件の範囲から外れていたものと思われる。また、溶接電圧を上げると止端部がなめらかな幅広ビードになるが溶込みは浅くなる。

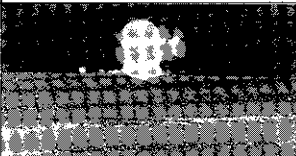
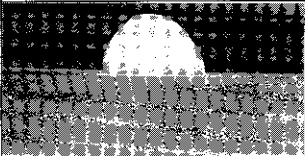
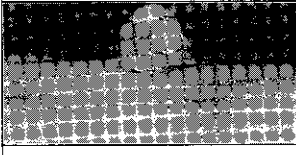
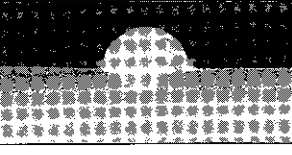
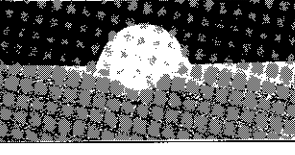
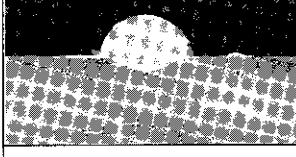
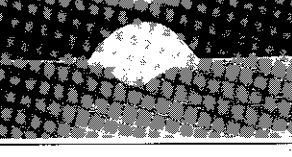
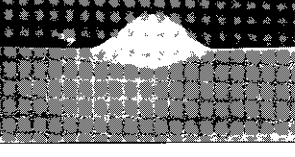
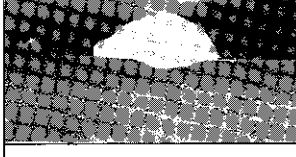
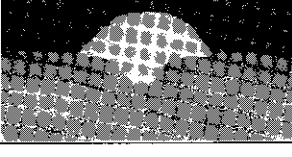
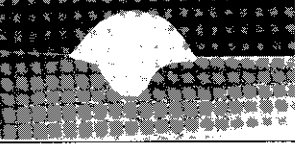
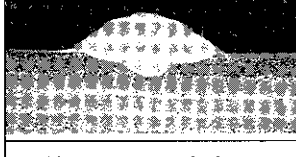
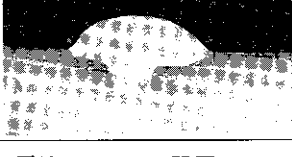
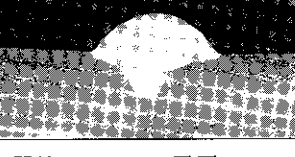
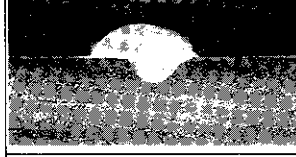
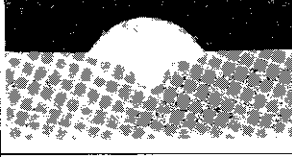
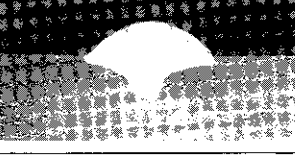
| 使 用 ガ ス       |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| パルス電流<br>の有 無 | Ar (100%)                                                                           | Ar + O <sub>2</sub> (2%)                                                            | Ar + CO <sub>2</sub> (5%)                                                            |
| 無             |    | 溶 接 で き ず                                                                           |    |
|               | 電流 = 150 A , 電圧 = 16 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         |                                                                                     | 電流 = 150 A , 電圧 = 14 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
|               |    |    |    |
|               | 電流 = 150 A , 電圧 = 20 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 18 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 18 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
|               |    |    |    |
|               | 電流 = 150 A , 電圧 = 24 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 22 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 22 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
| 有             |  |  |  |
|               | 電流 = 150 A , 電圧 = 23 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 20 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 21 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
|               |  |  |  |
|               | 電流 = 150 A , 電圧 = 27 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 24 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 25 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |
|               |  |  |  |
|               | 電流 = 150 A , 電圧 = 30 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 28 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                         | 電流 = 150 A , 電圧 = 29 V<br>溶接速度 = 400 mm/min                                          |

写真 5 ビード断面のマクロ写真 (溶接電圧を変化させた場合)

つぎに、溶接電圧を変化させたときのビード断面の溶込み深さ、余盛高さ、ビード幅の測定結果を図5に示す。グラフからパルス電流が入

ることにより設定電圧は高くなるのでアーク加熱域が広がってビード幅は増加し、余盛高さは減少する。また、溶込み深さは、増大する。

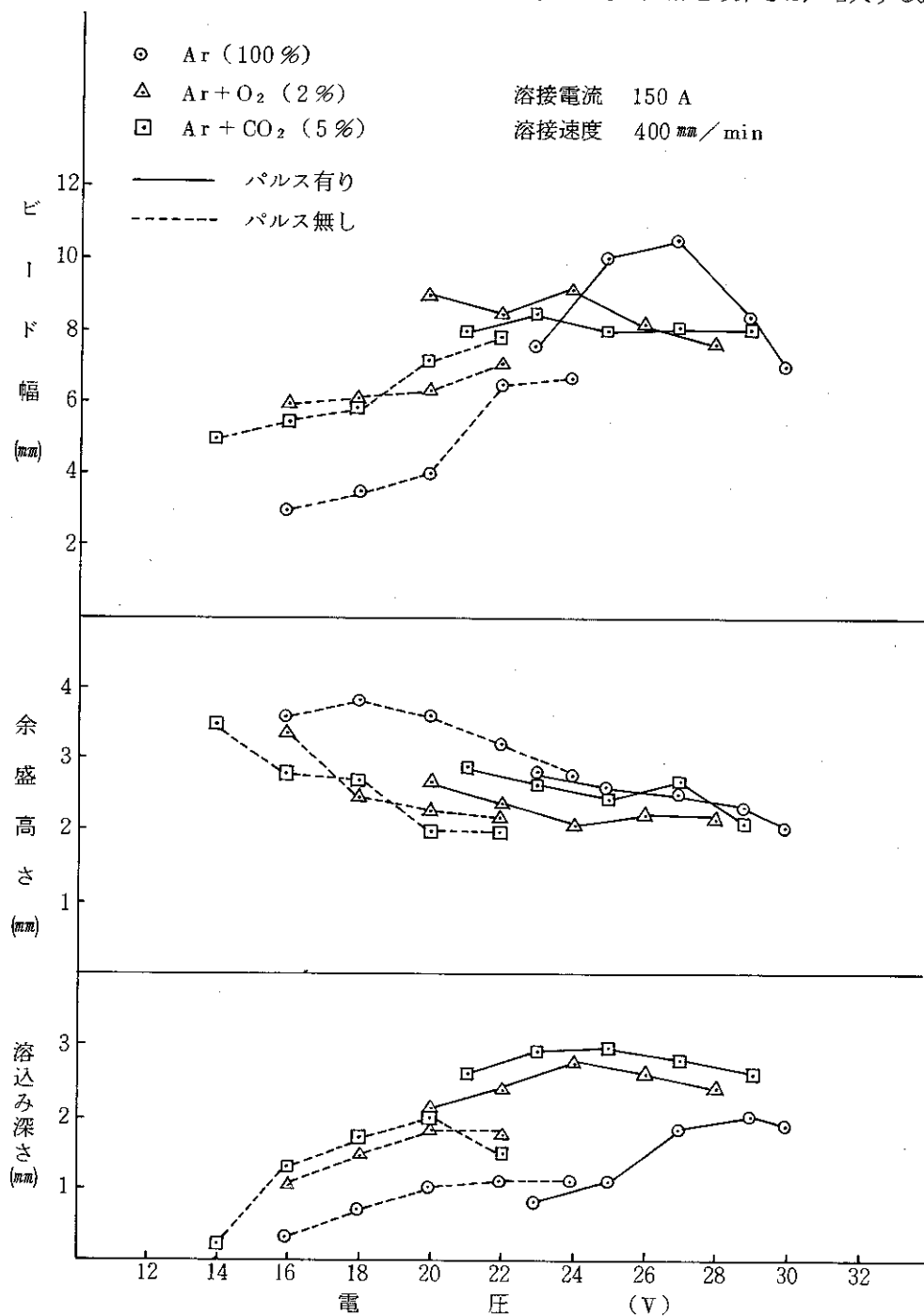


図5 ビード断面形状の比較 (溶接電圧を変化させた場合)

#### 4. ま と め

今回の実験結果をまとめると以下の様になる。

- (1) パルス電流を入れた場合、高溶接速度でも溶込みが深くビード幅が広く余盛が低く止端部のなめらかな美しいビードが得られるため高能率溶接が可能である。
- (2) Ar (100%) のガスよりも Ar + O<sub>2</sub> (2%) と Ar + CO<sub>2</sub> (5%) の混合ガスの方が、アークが安定し、溶込みの深いビードが得られる。O<sub>2</sub> (2%) と CO<sub>2</sub> (5%) の混合ガスの顕著な差は認められない。しかし、O<sub>2</sub> (2%) のガスを混合した方は、止端部近傍の溶込みが浅い極端な中央深溶込み形で、CO<sub>2</sub> (5%) のガスを混合した方は、止端部から中央へ徐々に溶込んだ中央深溶込み形で、CO<sub>2</sub> の方が溶融面積が大きいようである。また、O<sub>2</sub> (2%) より CO<sub>2</sub> (5%) の混合ガスの方が、多少スパッタが少ないようである。

今回は、ビード形状の比較しか行っておらず機械的性質や耐食性については実験していないが、他の文献等によると混合ガス中

の酸素や炭素が溶融金属の中へ吸収され延性や耐食性が低下すると言われており、特にCO<sub>2</sub>を混合したガスについては、耐食性が低下するため使用環境に十分留意する必要がある。

- (3) 溶接電圧の変化により溶込み深さは変化するが、ガスの種類により最大溶込み深さを得る溶接電圧が違うので溶接条件の設定には十分留意する必要がある。

#### 参 考 文 献

- 1) 溶接技術 1983 2月号
- 2) 溶接学会誌 1984 9月号
- 3) 溶接便覧
- 4) ステンレス鋼の溶接 溶接全書12巻