

### ㉓ 溶接作業結果

#### (i) 完成品

##### (01) 前進法溶接

まず9mm板の前進法溶接で、1層目まで仕上げた溶接結果を見ると、平らに1層目ビードが盛られており、裏波の出方も良好である(図6-133)。

次に同じ溶接で、2層目まで仕上げられた溶接結果を見ると、1パス目溶接も2パス目溶接も平らに仕上げられている。また、両パス溶接のビードは右から左へまっすぐに並んでおり、溶接線が安定していたことも窺われる。各ビードの間隔を見ると概ね均等であり、ピッチ幅が安定した運棒が行われたことが窺われる。さらに、ビードの高さを見ると、1パス目溶接と2パス目溶接がほぼ同じ高さとなっている(図6-134)。

最後に同じ溶接で、最終層の3層目まで仕上げられた溶接結果を見ると、ビード間隔が均等で、余盛りが低く、まっすぐな形状に仕上がっている(図6-135)。



図6-133 高度熟練技能者の9mm板の前進法溶接の1層目の溶接結果



図6 - 134 高度熟練技能者の9 mm 板の前進法溶接の2層目までの溶接結果



図6 - 135 高度熟練技能者の9 mm 板の前進法溶接の最終溶接結果

## (02) 後退法溶接

9 mm 板の後退法溶接で、2 層目まで仕上げられた溶接結果を見ると、9 mm 板前進法溶接と同様、2 層目溶接については、1 パス目溶接及び2 パス目溶接ともビード間隔が均等で、平らかつまっすぐな仕上がりとなっている（図 6 - 136）。

また最終層の 3 層目まで仕上げられた溶接結果を見ると、前進法溶接と同様、ビード間隔が均等で、余盛りが低く、まっすぐな形状に仕上がっている。しかし、前進法溶接では個々のパスのビード幅が均等でなかったのに対し、後退法溶接では各パスのビード幅が均等となっている点が異なる（図 6 - 137）。

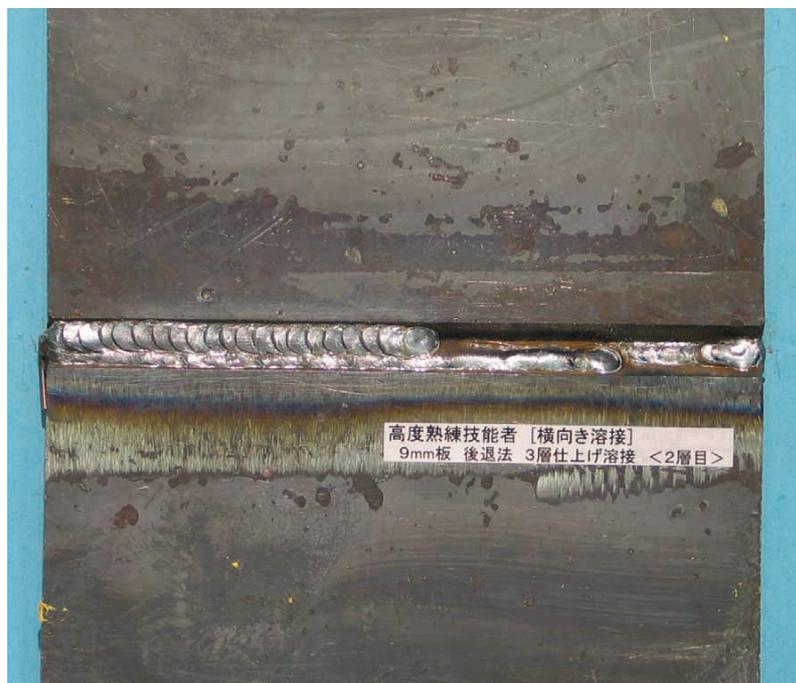


図 6 - 136 高度熟練技能者の 9 mm 板の後退法溶接の 2 層目までの溶接結果



図6 - 137 高度熟練技能者の9 mm 板の後退法溶接の最終溶接結果

(ii) マクロ試験結果

後退法溶接の完成品については、マクロ試験を行った。マクロ試験結果を見ると、溶け込み量が良好であること、2層目溶接、3層目溶接の溶け込み深さが一定位置を保っていることが特徴として指摘できる（図6 - 138）。

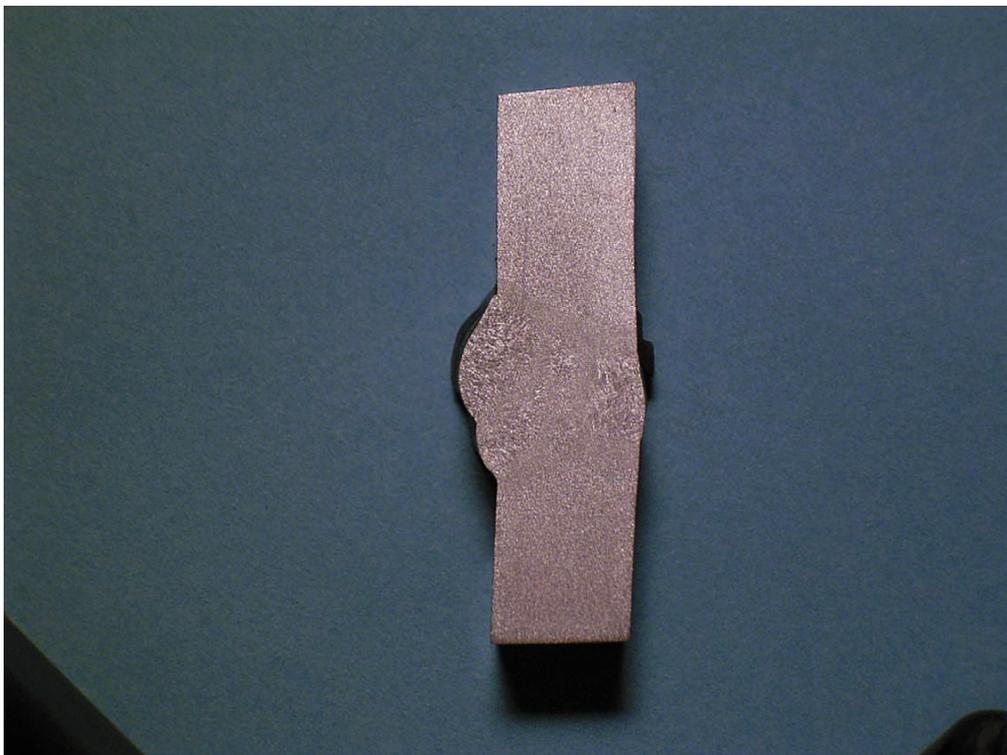


図6 - 138 高度熟練技能者の9 mm 板後退法溶接の完成品のマクロ試験結果

## (e) 12 mm 板の横向き姿勢溶接

## (イ) 前進法溶接全般

## (i) 溶接姿勢

12 mm 板の横向き姿勢前進法溶接における溶接姿勢は、身体の姿勢、視線のおき方、トーチの持ち方、及びトーチ角度のいずれも、9 mm 板の横向き姿勢前進法溶接と概ね同じで、両肘を足の上に載せ、リラックスした姿勢を保持していた点が特筆される（図6 - 139）。また、トーチを動かすとき、同時に足を開閉させることがときどき見られた。

## (ii) 溶融池の状況

12 mm 板溶接における溶融池の状況は、9 mm 板溶接と同様の状態であった。

## (ロ) 前進法 2 層目 1 パス目溶接

## (i) 運棒の動き

12 mm 板の前進法 2 層目 1 パス目溶接では、9 mm 板の前進法 2 層目 1 パス目溶接と同様、進行方向とは逆の方向に戻る運棒を行った。ただし、9 mm 板溶接ではストレートの運棒であったのに対し、12 mm 板では楕円形を描く運棒であった。また振り幅は 9 mm 板溶接よりも広がった（図6 - 140）。

## (ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板の前進法 2 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、右に傾いた小さい円を描く軌跡となっていた。9 mm 板の前進法 2 層目 1 パス目溶接と比較すると、振り幅が広がった（図6 - 141）。



図6 - 139 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法溶接における溶接姿勢

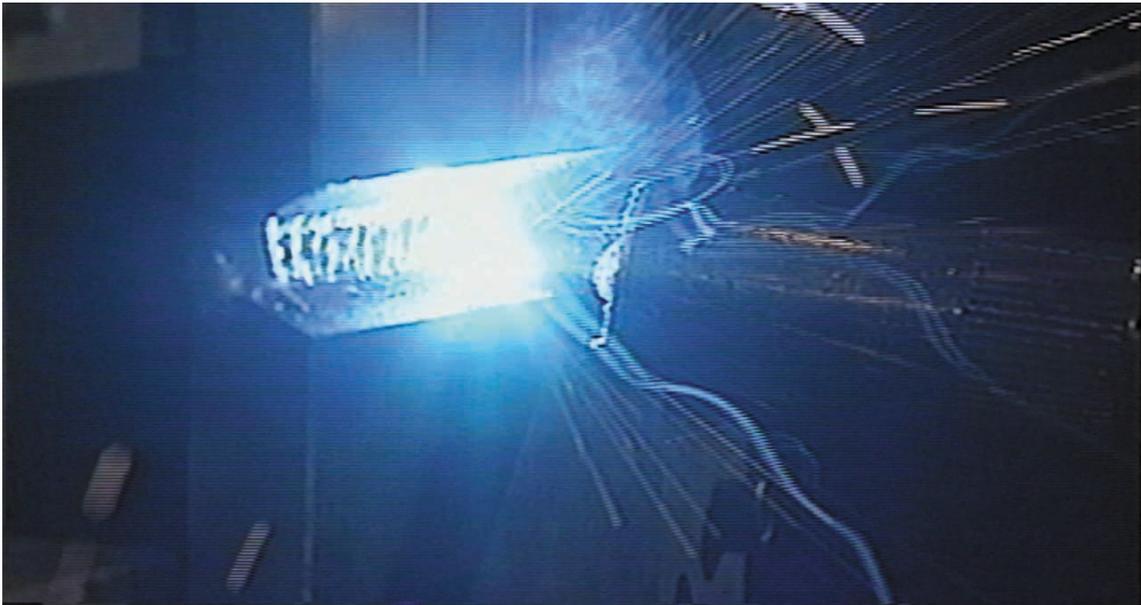
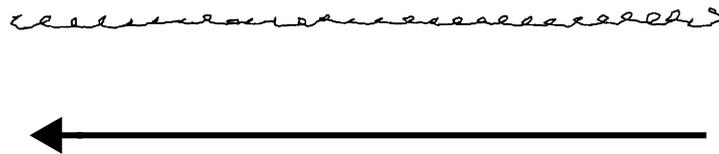


図6 - 140 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法2層目1パス目溶接のトーチの状況



（注）溶接方向は、右から左へである。

図6 - 141 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法2層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡

**(ハ) 前進法 2 層目 2 パス目溶接**

**(i) 運棒の動き**

12 mm 板前進法 2 層目 2 パス目溶接では、9 mm 板前進法 2 層目 2 パス目溶接と同様、楕円形を描く運棒を行い、左下から右上への運棒はゆっくりと、右上から左下への運棒は速く行っていた。しかし、この両者の運棒速度の差は、12 mm 板溶接の方が 9 mm 板溶接よりも大きく、12 mm 板溶接の方がメリハリのある運棒操作を行っていた。また、振り幅に注目しても、12 mm 板溶接の方が 9 mm 板溶接よりも広がっていた (図 6 - 142)。

**(ii) トーチ移動軌跡**

12 mm 板の前進法 2 層目 2 パス目溶接におけるトーチ移動軌跡を見ると、右に傾いた楕円形を描く図形となった。振り幅は、9 mm 板の前進法 2 層目 2 パス目溶接よりも広がった (図 6 - 143)。

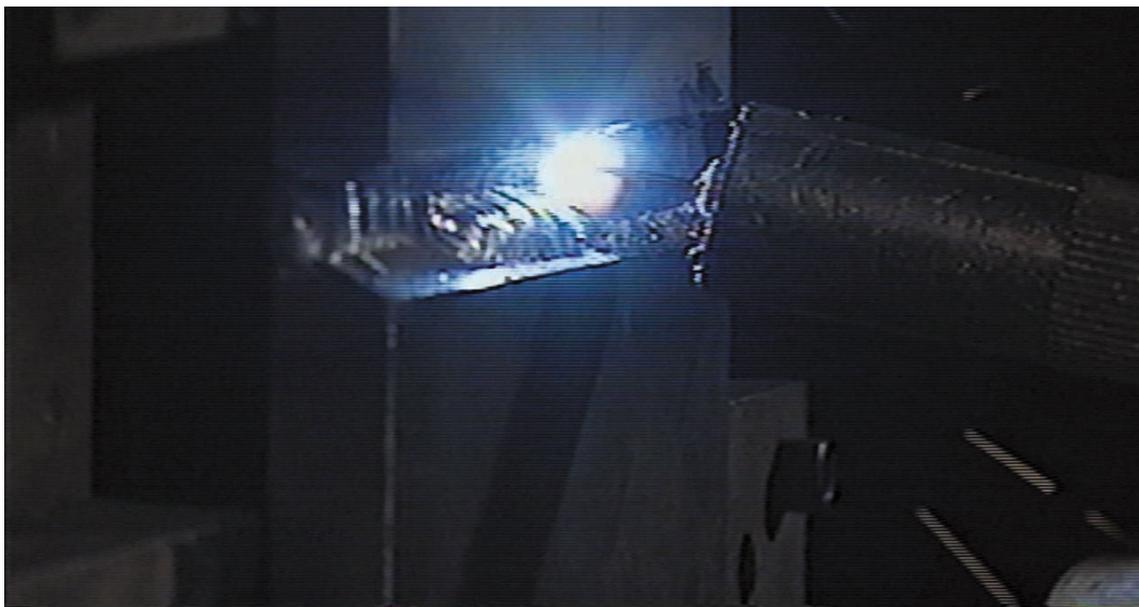
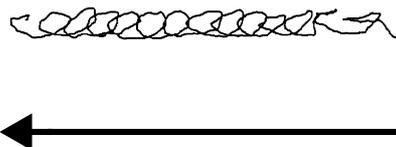


図 6 - 142 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法 2 層目 2 パス目溶接のトーチの状況



(注) 溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 143 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法 2 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡

（二） 前進法 3 層目 1 パス目溶接

（i） 運棒の動き

12 mm 板の前進法 3 層目 1 パス目溶接の運棒パターンは、9 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接と同様、ルート方向に上下した楕円形を描く運棒であったが、下から上への運棒速度と上から下への運棒速度に差があり、前者の方が後者よりも遅かった（図 6 - 144）。

（ii） トーチ移動軌跡

12 mm 板の前進法 3 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、形状は 9 mm 板の前進法 3 層目 1 パス目溶接と同じであったが、振り幅は 12 mm 板溶接の方が広がっていた（図 6 - 145）。

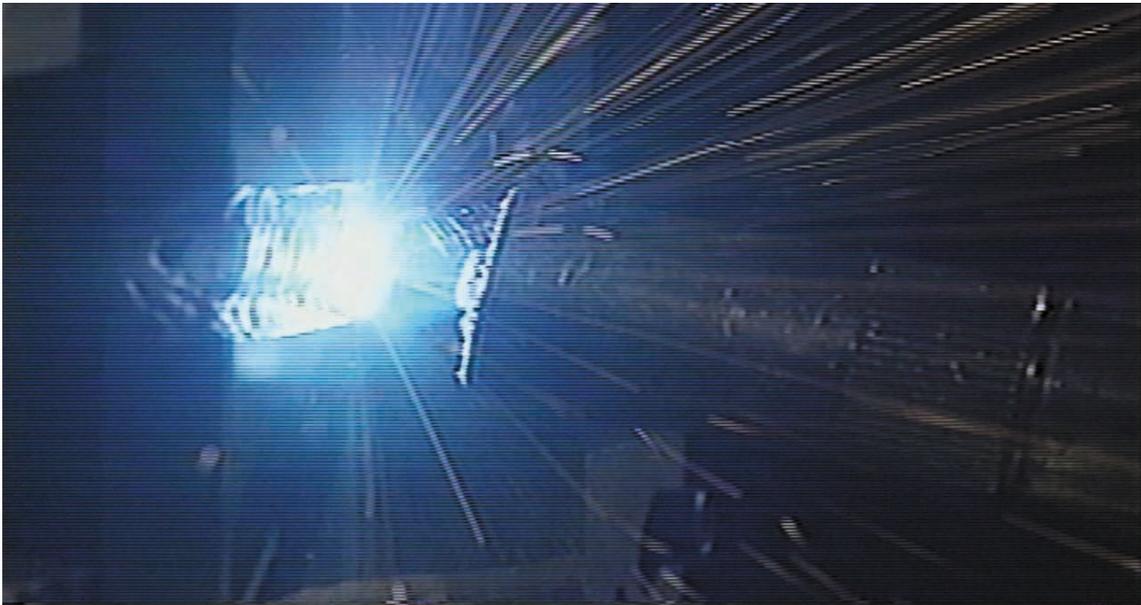
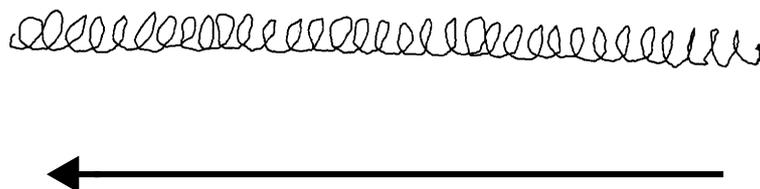


図 6 - 144 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 1 パス目溶接のトーチの状況



（注）溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 145 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡

**ホ 前進法 3 層目 2 パス目溶接**

(i) 運棒の動き

12 mm 板の前進法 3 層目 2 パス目溶接の運棒パターンは、9 mm 板の前進法 3 層目 2 パス目溶接と同じであったが、ピッチ幅は細かく、振り幅は広がっていた (図 6 - 146)。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板の前進法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、9 mm 板前進法 3 層目 2 パス目溶接と同じ形状であったが、振り幅は広がった。また、同層 1 パス目溶接との振り幅の違いを見ると、9 mm 板 3 層目溶接ではほとんど差が見られなかったのに対し、12 mm 板 3 層目溶接では、1 パス目溶接より 2 パス目溶接が狭くなっていた (図 6 - 147)。

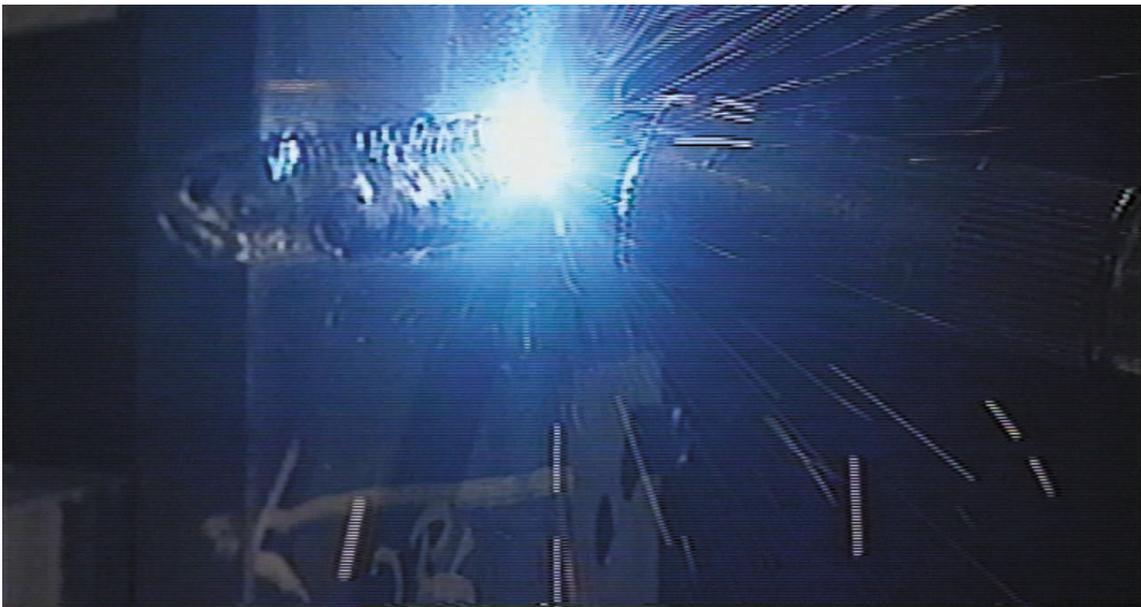


図 6 - 146 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 2 パス目溶接のトーチの状況



(注) 溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 147 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡

（ハ） 前進法 3 層目 1 パス目溶接（3 層目 3 パス仕上げ溶接）

(i) 運棒の動き

12 mm 板の前進法溶接で、3 層目溶接を 3 パスで仕上げる溶接（以下「3 層目 3 パス仕上げ溶接」という）について見ると、まず 3 層目 1 パス目溶接の運棒は、3 層目溶接を 2 パスで仕上げる溶接（以下「3 層目 2 層仕上げ溶接」という）の 3 層目 1 パス目溶接（ニ）と同じパターンであったが、下から上への運棒速度と上から下への運棒速度の差は見られなかった（図 6 - 148）。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板の前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接における、3 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、楕円形を描く図形となっていたが、3 層目 2 層仕上げ溶接の 3 層目 1 パス目溶接よりも振り幅が狭くなっていた（図 6 - 149）。

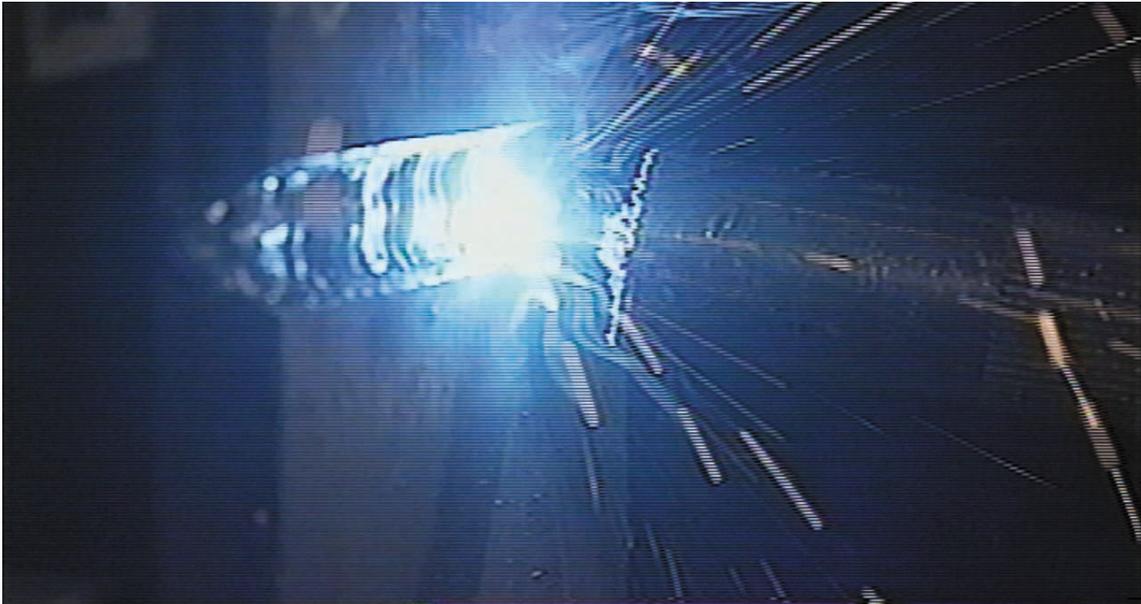
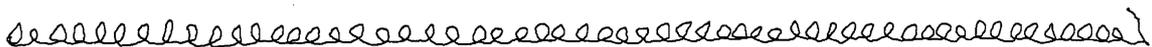


図 6 - 148 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 1 パス目溶接（3 層目 3 パス仕上げ溶接）のトーチの状況



（注）溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 149 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 1 パス目溶接（3 層目 3 パス仕上げ溶接）のトーチ移動軌跡

(ト) 前進法 3 層目 2 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 )

(i) 運棒の動き

12 mm 板前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 2 パス目溶接の運棒パターンは、3 層目 2 パス仕上げ溶接の 3 層目 2 パス目溶接と同様、ルート方向に上下させながら、楕円形を描く運棒であったが、下から上への運棒速度と上から下への運棒速度が非対称となっており、どちらかというとならば 3 層目 2 パス仕上げ溶接の 3 層目 1 パス目溶接に似た運棒パターンであった。

振り幅は、3 層目 2 パス仕上げ溶接と異なり、3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 1 パス目溶接 ( ㄎ ) よりも広がっていた ( 図 6 - 150 )。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 2 パス目溶接におけるトーチ移動軌跡を見ると、右に傾いた楕円形を描く図形となった。また、振り幅は 3 層目 2 パス仕上げ溶接の 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡における楕円形より、広がった。また、3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 1 パス目溶接よりも振り幅が広がった ( 図 6 - 151 )。

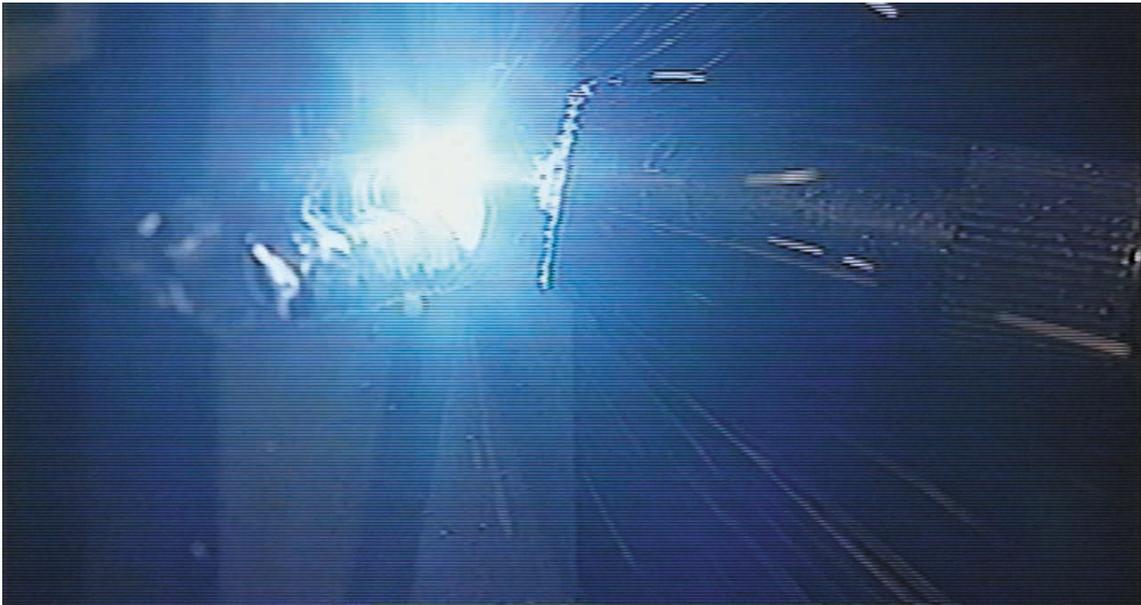
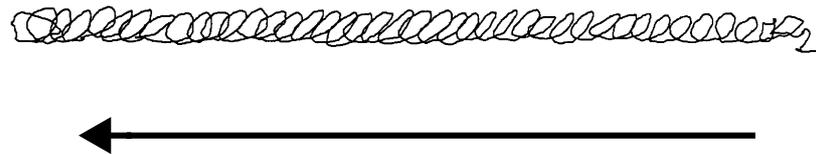


図6 - 150 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法3層目2パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）のトーチの状況



（注）溶接方向は、右から左へである。

図6 - 151 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢前進法3層目2パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）のトーチ移動軌跡

(チ) 前進法 3 層目 3 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 )

(i) 運棒の動き

12 mm 板の前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 3 パス目溶接では、ルート方向に上下しながら、ルート方向に上下させながら、溶接方向にまっすぐに運棒した。また、振り幅は、3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 1 パス目溶接、3 層目 2 パス目溶接よりも狭かった ( 図 6 - 152 )。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板の前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 3 パス目溶接におけるトーチ移動軌跡は、わずかにウィーピングする直線に近い図形であった ( 図 6 - 153 )。

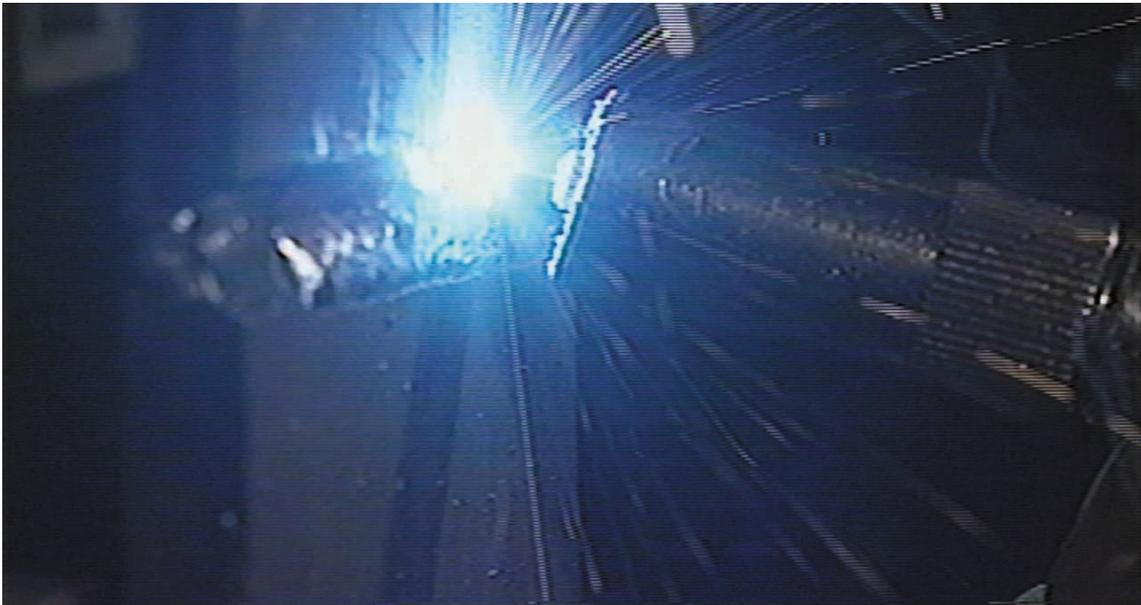
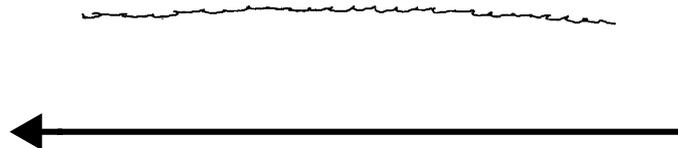


図 6 - 152 高度熟練技能者の 12 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 3 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 ) のトーチの状況



( 注 ) 溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 153 高度熟練技能者の 12 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 3 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 ) のトーチ移動軌跡

**(リ) 後退法溶接全般**

**(i) 溶接姿勢**

12 mm 板の横向き姿勢後退法溶接における溶接姿勢は、12 mm 板の横向き姿勢前進法溶接と大きな差異は見られず、前進法溶接と同様、肘を足の上に載せ、左手をトーチの下に添える、リラックスした姿勢をとり続けていた（図6 - 154）。

**(ii) 溶融池の状況**

12 mm 板の横向き姿勢後退法溶接における溶融池の状態は、9 mm 板の横向き姿勢後退法溶接と大きな違いはなかった。



図6 - 154 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法溶接における溶接姿勢

(又) 後退法 2 層目 1 パス目溶接

(i) 運棒の動き

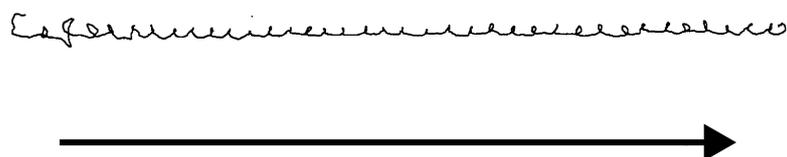
12 mm 板の後退法 2 層目 1 パス目溶接における運棒は、前進法 2 層目 1 パス目溶接と異なり、直線に近い運棒であったが、進行方向とは逆の方向に戻す動きが見られたのは共通であった（図 6 - 155）。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板の後退法 2 層目 1 パス目溶接におけるトーチ移動軌跡を見ると、前進法 2 層目 1 パス目溶接と同様、小さい楕円形を描く図形となった。振り幅は前進法溶接よりも狭かった（図 6 - 156）。



図 6 - 155 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 1 パス目溶接のトーチの状況



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 156 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡

Ⅷ 後退法 2 層目 2 パス目溶接

(i) 運棒の動き

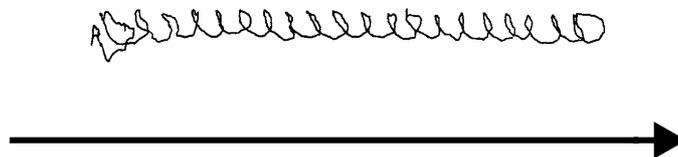
12 mm 板後退法 2 層目 2 パス目溶接では、楕円形を描く運棒であったが、進行方向とは逆の方向へ戻す動きが見られた（図 6 - 157）。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板後退法 2 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、小さな楕円形を描く図形となっていた。同じ板厚の前進法 2 層目 2 パス目溶接を比較すると、振りが狭くなっていた（図 6 - 158）。



図 6 - 157 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 2 パス目溶接のトーチの状況



（注）溶接方向は、左から右へである。

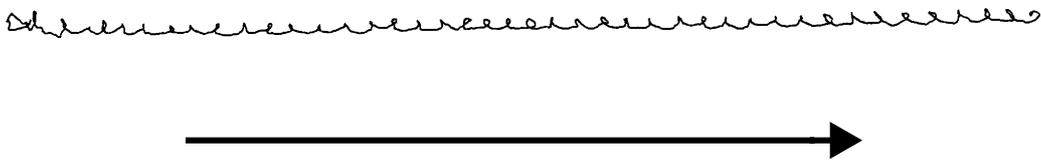
図 6 - 158 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡

(フ) 後退法 2 層目 1 パス目溶接 (長時間溶接)<sup>12</sup>

12 mm 板後退法溶接で、2 層目 1 パス目溶接を長く作業したときのトーチ移動軌跡は、図 6 - 159のとおりである。これは、前掲図 6 - 157とほぼ同じ形状となっている。

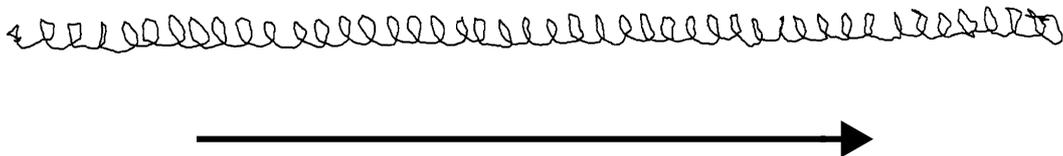
(フ) 後退法 2 層目 2 パス目溶接 (長時間溶接)<sup>13</sup>

12 mm 板後退法溶接で、2 層目 2 パス目溶接を長く作業したときのトーチ移動軌跡は、図 6 - 159のとおりである。その形状は、前掲図 6 - 158とほぼ同じである。



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 159 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 1 パス目溶接 (長時間) のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 160 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 2 パス目溶接 (長時間) のトーチ移動軌跡

<sup>12</sup> 10と同じ。

<sup>13</sup> 10と同じ。

**(カ) 後退法3層目1パス目溶接**

**(i) 運棒の動き**

12 mm 板の後退法3層目1パス目溶接の運棒パターンは、同じ板厚の前進法3層目1パス目溶接や9 mm 板の後退法3層目1パス目溶接と同じであった（図6 - 161）。

**(ii) トーチ移動軌跡**

12 mm 板の後退法3層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡は、同じ板厚の前進法3層目1パス目溶接と同様、楕円形を描く図形となったが、左に傾いていた。なお、これを9 mm 板の後退法3層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡と比較すると、図形の形は似通っているが、振り幅は12 mm 板溶接の方が広がっていた（図6 - 162）。

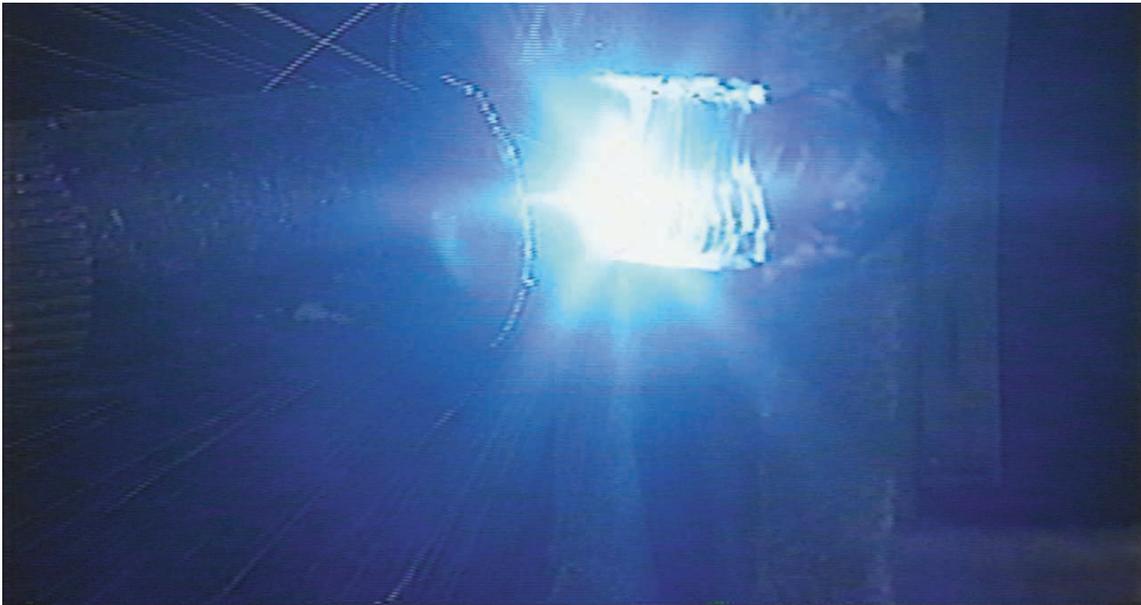
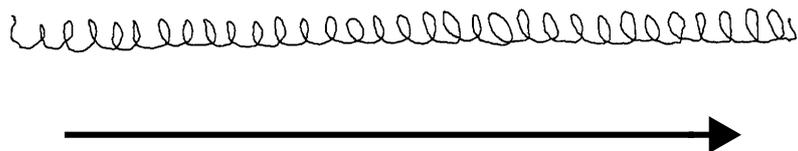


図6 - 161 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法3層目1パス目溶接のトーチの状況



（注）溶接方向は、左から右へである。

図6 - 162 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法3層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡

㉓ 後退法 3 層目 2 パス目溶接

(i) 運棒の動き

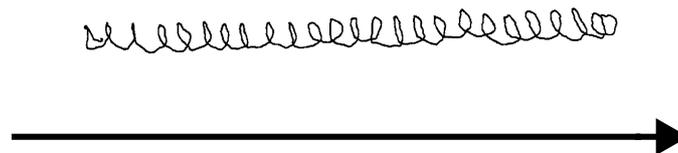
12 mm 板の後退法 3 層目 2 パス目溶接の運棒パターンは、同じ板厚の前進法 3 層目 2 パス目溶接と同じであった。また、9 mm 板溶接では上から下への運棒速度と下から上への運棒速度に違いが見られなかったのに対し、12 mm 板では上から下への運棒速度よりも下から上への運棒速度の方が遅かったという点が、相違点である ( 図 6 - 163 )。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板の後退法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、左に傾いた楕円形を描く図形となっており、同じ板厚の前進法 3 層目 2 パス目溶接とほぼ同じであった。また、9 mm 板の後退法 3 層目 2 パス目溶接と比較すると、12 mm 板溶接の方が 9 mm 板溶接よりも、振り幅が広がっていた ( 図 6 - 164 )。



図 6 - 163 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 2 パス目溶接のトーチの状況



(注) 溶接方向は、左から右へである。

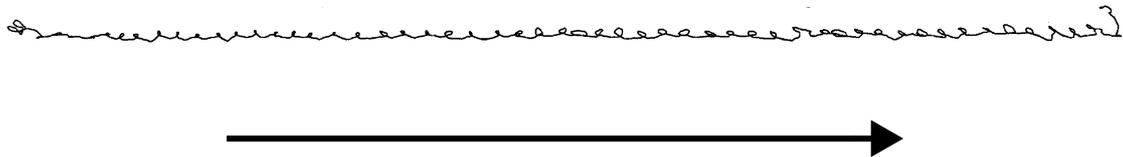
図 6 - 164 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡

**(タ) 後退法2層目1パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）**

12 mm 板の後退法溶接でも、前進法溶接と同様、3層目を3パスで仕上げる溶接も高度熟練技能者に作業していただいた。後退法溶接については、2層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡データをとったため、そのグラフを示すと図6 - 165のとおりとなり、楕円形を描く図形となった。

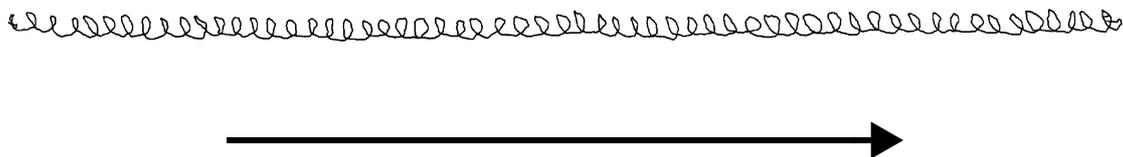
**(レ) 後退法2層目2パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）**

12 mm 板後退法後退法3層目3パス仕上げ溶接では、2層目2パス目溶接についてもトーチ移動軌跡データのみとった。トーチ移動軌跡を示すと図6 - 166のとおりとなり、楕円形を描く図形となった。



（注）溶接方向は、左から右へである。

**図6 - 165 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法2層目1パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）のトーチ移動軌跡**



（注）溶接方向は、左から右へである。

**図6 - 166 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法2層目2パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）のトーチ移動軌跡**

㉞) 後退法 3 層目 1 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 )

(i) 運棒の動き

12 mm 板の後退法 3 層目 3 パス仕上げ溶接における 3 層目 1 パス目溶接の運棒を見ると、前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 1 パス目溶接と異なり、ジグザグを描く運棒となった。また、後退法 3 層目 2 パス仕上げの 3 層目 1 パス目溶接と比較すると、3 層目 3 パス仕上げ溶接がストレートに近い運棒であることに加え、振り幅が狭くなっていた点が異なっていた ( 図 6 - 167 )。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板の後退法 3 層目 3 パス仕上げ溶接における 3 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、直線に近い図形となった。これを前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 1 パス目溶接と比較すると、後退法溶接の方が前進法溶接よりも振り幅が狭かったことが窺われる ( 図 6 - 168 )。

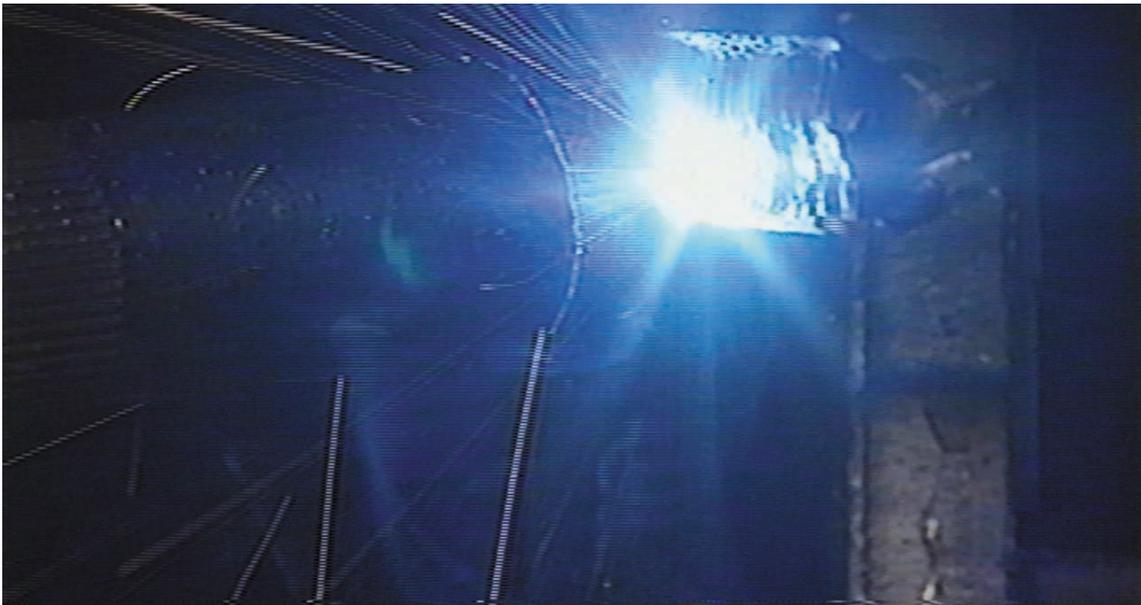
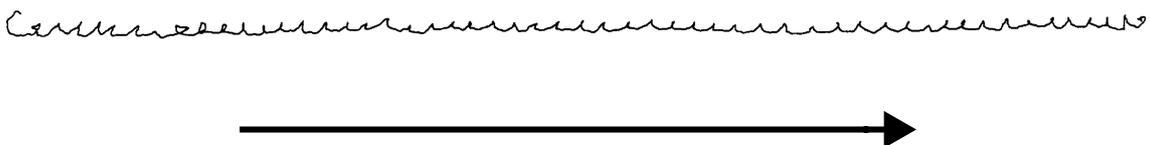


図 6 - 167 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 1 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 ) のトーチの状況



( 注 ) 溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 168 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 1 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 ) のトーチ移動軌跡

ツ) 後退法3層目2パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）

(i) 運棒の動き

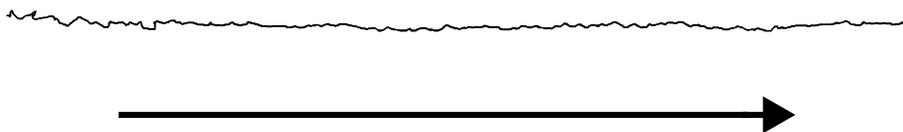
12 mm 板の後退法3層目3パス仕上げ溶接における3層目2パス目溶接の運棒は、前進法の3層目3パス仕上げ溶接の3層目2パス目溶接と同じパターンの運棒が行われたが、振り幅については、1パス目溶接と同様、後退法溶接の方が前進法溶接よりも狭くなっていた（図6 - 169）。

(ii) トーチ移動軌跡

12 mm 板後退法3層目3パス仕上げ溶接の3層目2パス目溶接におけるトーチ移動軌跡を見ると、進行方向及びルート方向ともに、わずかにウィーピングする動きは見られたものの、ほとんどストレートに近い運棒を示していた。これを前進法3層目3パス仕上げ溶接の3層目2パス目溶接と比較すると、後退法溶接がストレートに近い運棒であったのに対し、前進法溶接は楕円形を描く運棒となっていたことが異なっていた（図6 - 170）。



図6 - 169 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法3層目2パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）のトーチの状況



（注）溶接方向は、左から右へである。

図6 - 170 高度熟練技能者の12 mm 板横向き姿勢後退法3層目2パス目溶接（3層目3パス仕上げ溶接）のトーチ移動軌跡

**(ネ) 後退法 3 層目 3 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 )**

**(i) 運棒の動き**

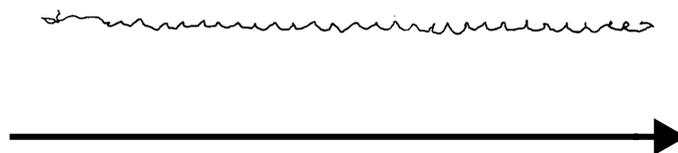
12 mm 板後退法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 3 パス目溶接は、ルート方向に上下させるジグザグ型の運棒であった。この点は、前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 2 パス目溶接と共通であった ( 図 6 - 171 )。

**(ii) トーチ移動軌跡**

12 mm 板後退法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 3 パス目溶接におけるトーチ移動軌跡は、わずかにウィーピングする動きは見られたものの、ほとんどストレートに近い運棒を示していた。これを前進法 3 層目 3 パス仕上げ溶接の 3 層目 3 パス目溶接と比較すると、いずれもストレートに近い運棒であったが、振り幅は、後退法溶接の方が前進法溶接よりも広がっていた ( 図 6 - 172 )。



図 6 - 171 高度熟練技能者の 12 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 3 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 ) のトーチの状況



( 注 ) 溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 172 高度熟練技能者の 12 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 3 パス目溶接 ( 3 層目 3 パス仕上げ溶接 ) のトーチ移動軌跡

## ナ) 溶接作業結果

### (i) 前進法溶接

12 mm 板前進法溶接の溶接作業結果を見ると、まず2層目までの溶接結果では、9 mm 板前進法溶接と同様、ビード間隔が均等で、平らかつまっすぐな仕上がりになっており、ビード高さも1パス目溶接と2パス目溶接が概ね均等となっている。しかし、個々のビードの形状に注目すると、12 mm 板溶接の方が9 mm 板溶接よりも斜めに長い楕円形となっており、振り幅が広い運棒が3層目各パスの溶接で実施されていたことが窺われる（図6 - 173）。

次に、3層目2パス仕上げ溶接の最終層の3層目まで仕上げられた溶接結果を見ると、9 mm 板前進法溶接と同様、ビード間隔が均等で、余盛りが低く、まっすぐな形状に仕上がっている。しかし、3層目3パス仕上げ溶接の溶接結果を見ると、各パスのビードの幅が均等になっておらず<sup>14</sup>、3パス目溶接のビード幅も、ストレートに近い運棒が行われたことから、細く仕上がっている（図6 - 174）。



図6 - 173 高度熟練技能者の12 mm 板の前進法溶接の2層目までの溶接結果

<sup>14</sup> この理由として、高度中連技能者が12 mm 板横向き姿勢溶接を行うとき、通常2パスで仕上げていたため、一般技能者との比較のための3層仕上げを当日突然依頼されたため、3パス目のビード幅の目安を間違えてしまったことが考えられる。

3層目2パス仕上げ溶接



3層目3パス仕上げ溶接



図6 - 174 高度熟練技能者の12mm板の前進法溶接の最終溶接結果

(ii) 後退法溶接

12 mm 板後退法溶接の溶接作業結果を見ると、2 層目までの溶接結果は、9 mm 板後退法溶接と同様の仕上がりとなっている（図6 - 175）。

次に、最終層の3層目まで仕上げられた溶接結果を見ると、3層目2パス仕上げ溶接の溶接結果は、9 mm 板後退法溶接と同様であったが、3層目3パス仕上げ溶接の溶接結果では、前進法溶接と異なり、個々のパスのビード幅が均等に仕上がっている（図6 - 176）。



図6 - 175 高度熟練技能者の12 mm 板の後退法溶接の2層目までの溶接結果

3 層目 2 パス仕上げ溶接



3 層目 3 パス仕上げ溶接



図 6 - 176 高度熟練技能者の12 mm 板の後退法溶接の最終溶接結果

(f) 19 mm 板の横向き姿勢溶接

㊦ 前進法溶接全般

(i) 溶接姿勢

19 mm 板の横向き姿勢前進法溶接における溶接姿勢は、9 mm 板横向き姿勢前進法溶接や12 mm 板横向き姿勢前進法溶接と同様、両肘を足の上に載せ、終始リラックスした姿勢で作業を行っていた（図6 - 177）。

(ii) 溶融池の状況

19 mm 板の横向き姿勢前進法溶接における溶融池の形状も同様で、1層目溶接は開先底部周辺、2層目以降の1パス目溶接では下の止端部周辺、2層目以降の最終パス溶接では上の止端部周辺を中心に、それぞれ溶融池が移動し、いずれも表面の金属が揺れる状態を示していた。



図6 - 177 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法溶接における溶接姿勢

**(iii) 運棒の動き**

19 mm 板の横向き姿勢前進法溶接における運棒の動きは、12 mm 板横向き姿勢溶接と概ね同じであった。いずれも楕円形を描く運棒で、左下から右上への運棒はゆっくりと、右上から左下への運棒は速くというように、速度を非対称にした操作を行っていた。最終層の5層目溶接は、いずれもルート方向に上下しながら楕円形を描く運棒で、9 mm 板前進法3層目溶接とおおむね同じパターンであった。各パスの振り幅は2層目溶接が最も広がっていた。

**(ロ) 前進法2層目1パス目溶接**

19 mm 板前進法2層目1パス目溶接におけるトーチ移動軌跡は、直線に近い小さな楕円形を描く図形となっていた。また各楕円形は他の板厚同様右に傾いていた。なお、最初火花が散ったため、運棒に若干のぶれが生じ、トレンドから大きく乖離する動きが見られたが、それ以外はトレンドに沿った安定した運棒となっている(図6-178)。

**(ハ) 前進法2層目2パス目溶接**

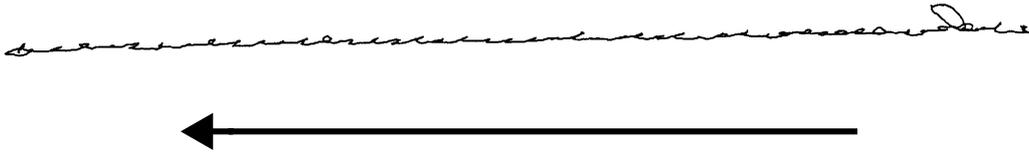
19 mm 板の前進法2層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡は、小さい楕円形を描く図形を示していた。また、9 mm 板2層目2パス目溶接と比較すると、図形の形状は類似しており、振り幅も同程度であった(図6-179)。

**(ニ) 前進法3層目1パス目溶接**

19 mm 板の前進法3層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡は、小さい楕円形を描く図形を示していた。9 mm 板2層目1パス目溶接と比較すると、振り幅が19 mm 板溶接の方が9 mm 板溶接よりも広がっていた(図6-180)。

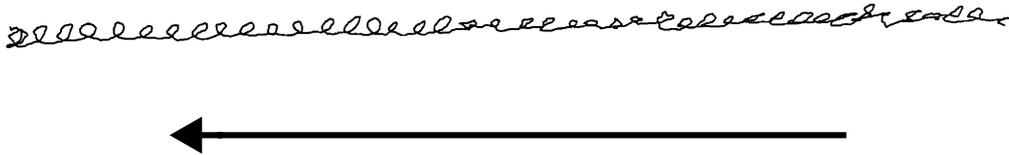
**(ホ) 前進法3層目2パス目溶接**

19 mm 板の前進法3層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、右に傾いた楕円形を描く図形となっており、振り幅は9 mm 板2層目2パス目溶接よりも広がった(図6-181)。



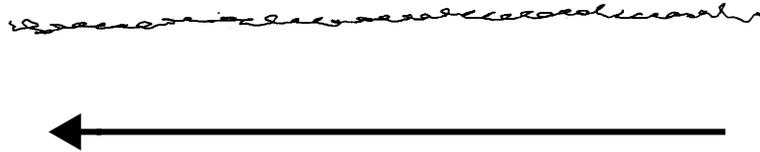
(注) 溶接方向は、右から左へである。

図6 - 178 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法2層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡



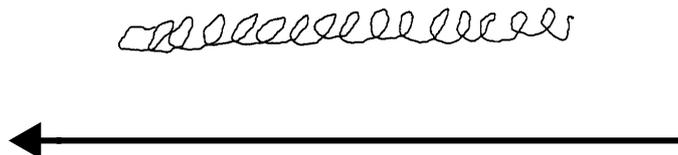
(注) 溶接方向は、右から左へである。

図6 - 179 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法2層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、右から左へである。

図6 - 180 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法3層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、右から左へである。

図6 - 181 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法3層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡

㇆ 前進法 4 層目 1 パス目溶接

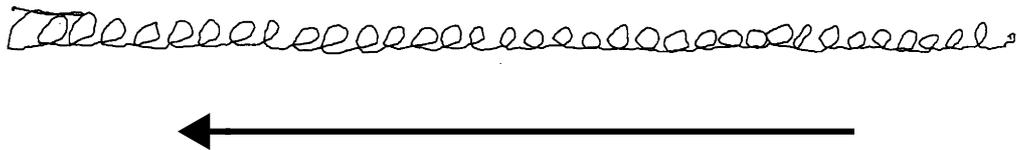
19 mm 板前進法 4 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡も、2 層目 1 パス目溶接及び 3 層目 1 パス目溶接と同様、楕円形を描く図形となっており、振り幅はそれまでの 2 層目 1 パス目溶接や 3 層目 1 パス目溶接よりも広がった。また 9 mm 板の前進法 2 層目 1 パス目溶接に比べても、振り幅が広がった（図 6 - 182）。

㇇ 前進法 4 層目 2 パス目溶接

19 mm 板前進法 4 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、右に傾いた楕円形を描く図形となった（図 6 - 183）。

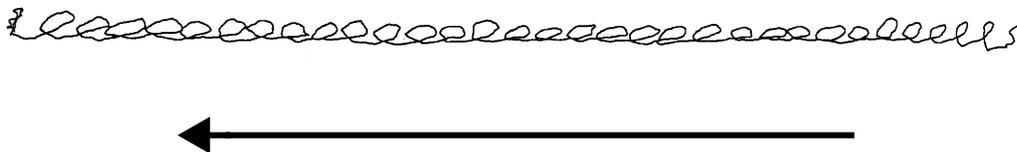
㇈ 前進法 4 層目 3 パス目溶接

19 mm 板前進法 4 層目 3 パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、楕円形が相互に重なった図形で、同層 1 パス目、2 パス目よりも振り幅が広がった（図 6 - 184）。



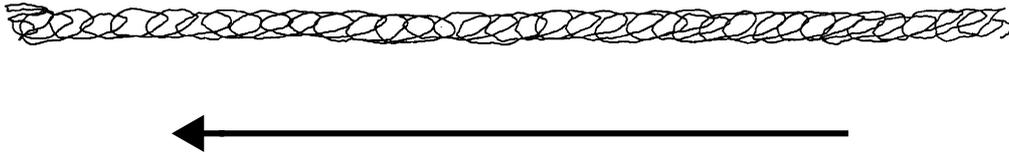
（注）溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 182 高度熟練技能者の 19 mm 板横向き姿勢前進法 4 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡



（注）溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 183 高度熟練技能者の 19 mm 板横向き姿勢前進法 4 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡



（注）溶接方向は、右から左へである。

図6 - 184 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法4層目3パス目溶接のトーチ移動軌跡

（リ） 前進法5層目1パス目溶接

19 mm 板の前進法5層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、楕円形を描く図形となった。振り幅は、9 mm 板3層目1パス目溶接より広がった（図6 - 185）。

（ヌ） 前進法5層目2パス目溶接

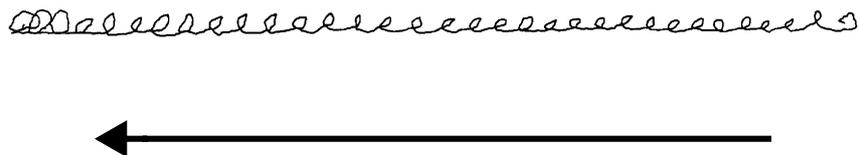
19 mm 板の前進法5層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡は、図6 - 186のとおりである。（リ）と同様、楕円形を描く図形となったが、振り幅は広がった。

（ル） 前進法5層目3パス目溶接

19 mm 板前進法5層目3パス目溶接のトーチ移動軌跡も楕円形を描く図形となったが、振り幅は、5層目2パス目溶接より狭くなった（図6 - 187）。

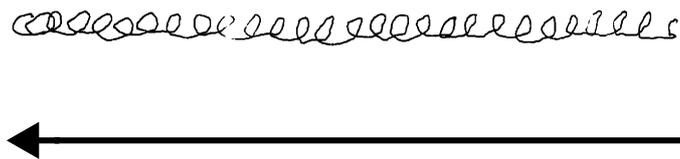
（ロ） 前進法5層目4パス目溶接

19 mm 板前進法5層目4パス目溶接のトーチ移動軌跡は、図6 - 188のとおりである。これを見ると、楕円形を描く図形となっているが、同じ最終層最終パス溶接に当たる9 mm 板前進法3層目2パス目溶接に比べ、振り幅が広がった。



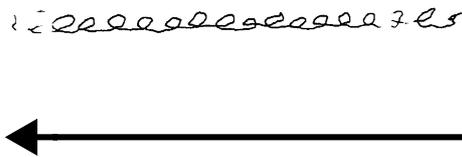
（注）溶接方向は、右から左へである。

図6 - 185 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法5層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡



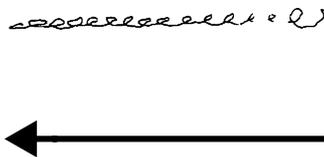
(注) 溶接方向は、右から左へである。

図6 - 186 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法5層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、右から左へである。

図6 - 187 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法5層目3パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、右から左へである。

図6 - 188 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢前進法5層目4パス目溶接のトーチ移動軌跡

㉞ 後退法溶接全般

(i) 溶接姿勢

19 mm 板の横向き姿勢後退法溶接における溶接姿勢は、9 mm 板溶接や12 mm 板溶接、19 mm 板前進法溶接と大きな差異は見られず、リラックスした姿勢の保持に重点をおき作業が行われていた（図6 - 189）。

(ii) 溶融池の状況

19 mm 板横向き姿勢後退法溶接の溶融池の状況は、同じ板厚の前進法溶接と同じ状況であった。

(iii) 運棒の動き

19 mm 板横向き姿勢後退法溶接での運棒パターンは、同じ板厚の前進法溶接の運棒パターンを対称にしたものであった。すなわち、各層とも楕円形を描く運棒で、左に傾いた形状となっていた。



図6 - 189 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法溶接における溶接姿勢

**(カ) 後退法 2 層目 1 パス目溶接**

19 mm 板後退法 2 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、若干ウィービングする動きが見られるものの、ほとんどストレートに近い運棒を示す図形となった。これを同じ板厚の前進法 2 層目 1 パス目溶接と比較すると、後退法溶接の方が前進法溶接より振り幅が狭くなっていた (図 6 - 190)。

**(コ) 後退法 2 層目 2 パス目溶接**

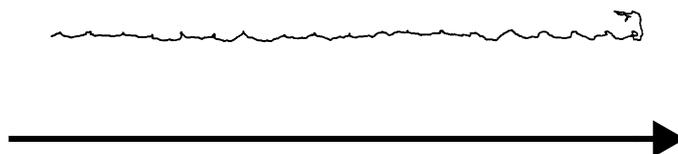
19 mm 板の後退法 2 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡のグラフを見ると、同じ板厚の前進法 2 層目 2 パス目溶接と同様、小さな楕円形を描く図形となった。また、振り幅を見ると、前進法溶接よりも狭くなっていた (図 6 - 191)。

**(ク) 後退法 3 層目 1 パス目溶接**

19 mm 板後退法 3 層目 1 パス目溶接の進行方向のトーチ軌跡を見ると、小さな楕円形を描く図形となった。また、19 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接と比較すると、ルート方向の振り幅が、後退法溶接の方が前進法溶接よりも広がっていた (図 6 - 192)。

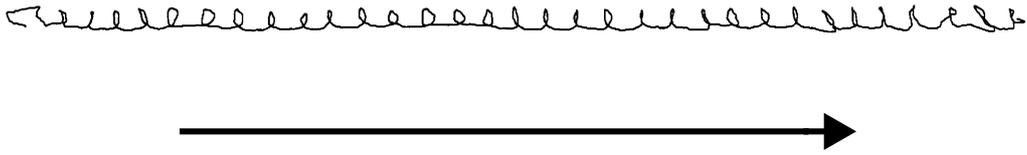
**(ク) 後退法 3 層目 2 パス目溶接**

19 mm 板後退法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、楕円形を描く図形となった。19 mm 板前進法 3 層目 2 パス目溶接と比較すると、前進法溶接よりも振り幅がやや狭かった (図 6 - 193)。



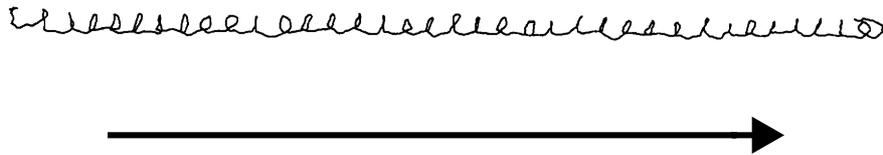
(注) 溶接方向は、左から右へである。

**図 6 - 190 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡**



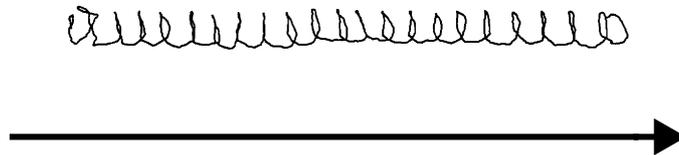
(注) 溶接方向は、左から右へである。

図6 - 191 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法2層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図6 - 192 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法3層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図6 - 193 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法3層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡

㉞ 後退法 4 層目 1 パス目溶接

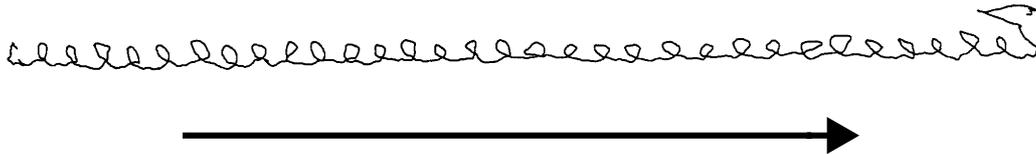
19 mm 板 4 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、楕円形を描く図形となった。振り幅は、19 mm 板前進法 4 層目 1 パス目溶接と同様、2 層目 1 パス目溶接、3 層目 1 パス目溶接よりも広がっていた (図 6 - 194)。

㉟ 後退法 4 層目 2 パス目溶接

19 mm 板後退法 4 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、楕円形を描く図形となった。19 mm 板前進法 4 層目 2 パス目溶接よりも、振り幅は狭かった (図 6 - 195)。

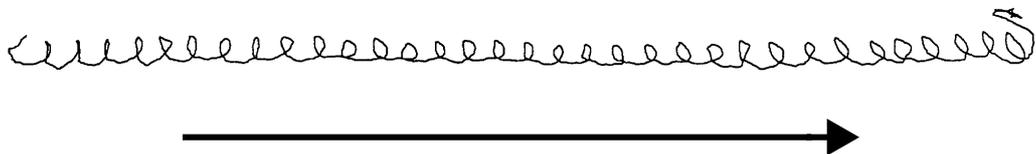
㊦ 後退法 4 層目 3 パス目溶接

19 mm 板後退法 4 層目 3 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、楕円形を描く図形であった。19 mm 板前進法 4 層目 3 パス目溶接よりも、ピッチ幅が広がった (図 6 - 196)。



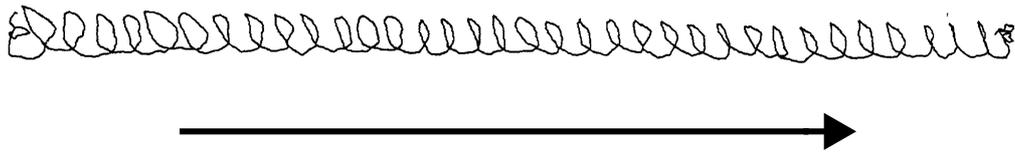
(注) 溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 194 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法 4 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 195 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法 4 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡



（注）溶接方向は、左から右へである。

図6 - 196 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法4層目3パス目溶接のトーチ移動軌跡

（ナ）後退法5層目1パス目溶接

19 mm 板後退法5層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、楕円形を描く図形であった。同じ板厚の前進法5層目1パス目溶接と比較すると、振り幅は後退法溶接の方が前進法溶接よりも広がった（図6 - 197）。

（ラ）後退法5層目2パス目溶接

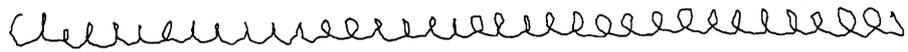
19 mm 板後退法5層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡は、楕円形を描く図形となった。なお、同じ板厚の前進法5層目2パス目溶接と比べ、振り幅の違いは見られなかった（図6 - 198）。

（ム）後退法5層目3パス目溶接

19 mm 板後退法5層目3パス目溶接のトーチ移動軌跡は、楕円形を描く図形となった。これを19 mm 板前進法5層目3パス目溶接と比較すると、後退法溶接の方が前進法溶接よりも振り幅が広がった（図6 - 199）。

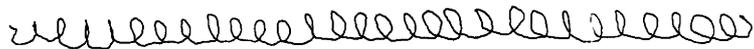
（ウ）後退法5層目4パス目溶接

19 mm 板後退法5層目4パス目溶接のトーチ移動軌跡は、小さい楕円形を描く図形となった。振り幅は、同層の1パス目溶接、2パス目溶接、3パス目溶接のいずれよりも狭くなった。19 mm 板前進法5層目4パス目溶接と比較すると、振り幅が広がった（図6 - 200）。



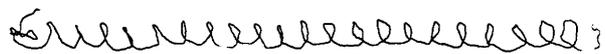
(注) 溶接方向は、左から右へである。

図6 - 197 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法5層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡



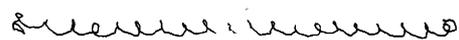
(注) 溶接方向は、左から右へである。

図6 - 198 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法5層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図6 - 199 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法5層目3パス目溶接のトーチ移動軌跡



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図6 - 200 高度熟練技能者の19 mm 板横向き姿勢後退法5層目4パス目溶接のトーチ移動軌跡

**(中) 溶接作業結果****(i) 前進法溶接**

19 mm 板前進法溶接の溶接作業結果を見ると、まず3層目までの溶接作業結果では、各層のビード間隔は均等となっており、ビード表面は平らに仕上げられている。3層目溶接について見ると、1パス目溶接と2パス目溶接のビードの高さが概ね同じとなっている。なお、9 mm 板前進法溶接の溶接作業結果と比較すると、19 mm 板の個々のビードの形状が、9 mm 板よりも斜めに長い楕円形となっており、3層目溶接で振り幅が長い運棒が行われたことを示唆している（図6 - 201）。

また、最終層の5層目まで仕上げられた溶接作業結果を見ると、5層目の各パスの最終的に表に出る太さはほぼ均等であり、余盛り高さも低く、良好なビード外観となっている。ただし、各パスのビードの重なりがあるため、個々のビード幅はパス間によりばらつきが見られる（図6 - 202）。



図6 - 201 高度熟練技能者の19 mm 板の前進黨法溶接の3層目までの溶接結果



図 6 - 202 高度熟練技能者の19 mm 板前進法溶接の最終溶接結果

(ii) 後退法溶接

19 mm 板後退法溶接の溶接作業結果を見ると、まず3層目までの溶接作業結果では、(i)の前進法溶接と同様、各層のビード間隔は均等となっており、ビード表面は平らに仕上げられている(図6 - 203)。

また、最終層の5層目まで仕上げられた溶接作業結果を見ると、5層目の余盛り高さが低いこと、ビード間隔が均等なことは、19 mm 板前進法溶接と同じであるが、5層目の各パスの最終的に表面に現れるビード幅は均一ではなく、1パス目溶接から3パス目溶接までは均等であるが、4パス目のみ太くなっている。その代わり、重なりの部分も含めた各ビード幅はほとんど均等になっている(図6 - 204)。



図6 - 203 高度熟練技能者の19 mm 板の後退法溶接の3層目までの溶接結果



図6 - 204 高度熟練技能者の19 mm 板後退法溶接の最終溶接結果

## 事後ヒアリング調査結果

### (a) 管の横向き姿勢溶接の作業ポイント

運棒するたびにトーチ角度が変わっていくため、できるだけトーチ角度を管の中心に対して90°に持っていくことに、ポイントをおいた。

身体の姿勢については、できるだけ同じ姿勢で長く溶接するため、窮屈な姿勢からスタートし、後半楽な姿勢になるように心掛けた。

炭酸ガス半自動溶接のため、母材ノズル間距離は20 mm以内を目標に調整した。

1層目溶接では、裏波の出具合を確かめるため、溶融池の状態を重点的に見た。

2層目以降の溶接では、心線と溶融池、ビードのでき上がりを見た。

### (b) 板の横向き姿勢溶接の作業ポイント

#### イ 9 mm 板前進法溶接

##### (i) 1層目溶接のポイント

裏波を出しながら溶接することにポイントをおき、トーチ角度を75°、心線を溶融池の薄いところに調整するよう運棒した。

##### (ii) 2層目1パス目溶接のポイント

2パス目のビードを盛りやすいよう、融合不良のないような形状にするため、できるだけ細くビードを盛った。

ノッチ状のビードになっていないことを確認しながら、中に心線を持っていくようにした。また上の方にビードを盛るようなウィーピング方法をとった。

下の開先を2 mm程度残すように、1パス目のビードを調整した。

##### (iii) 2層目2パス目溶接のポイント

上の開先が1 mm以上残るように、なるべく上の方にビードを盛るように、溶け込み不良がないようにウィーピングをかけて運棒した。

##### (iv) 3層目1パス目溶接のポイント

できるだけ溶融金属量を少なく、汚れビードが垂れないように、またできるだけビード高さなどが揃うよう心がけた。

まわしながらエル字を描くウィーピングをかけ、波形ビードを目指した。

余盛りの高さには注意していたが、運棒速度には特に意識しなかった。他の層に比べると速かったのではないかと思う。

(v) 3層目2パス目溶接のポイント

できるだけ1パス目のビードの高さにすることに注意した。

1パス目と2パス目のビードの幅がなるべく同じになるように、ビードの形状を見ながら調整した。

運棒方法は1パス目と2パス目は同じである。

(c) 12 mm 板溶接、19 mm 板溶接のポイント

12 mm 板溶接の中間層溶接では、9 mm 板よりビードを厚く盛るため、速度はゆっくり、ウィーピングを広めにした。

19 mm 板溶接では、9 mm 板に比べ、逆ひずみが残る溶融金属量がそれだけ多くなるため、逆ひずみをとるように運棒した。

19 mm 板では中間層溶接の電流値を少し上げて作業した。

できるだけ境界に心線をもっていき、戻しながら上のほうにビードを盛ることで、ビードが下に膨らむことを避けた。

(d) 前進法溶接と後退法溶接の違い

後退法溶接ではビードが厚く、かつ丸みを帯びるため、盛りすぎてしまう傾向がある。このため、速度やウィーピングを調整しながら盛るようにした。

(e) 管の横向き姿勢への応用にあたっての留意事項

管の横向き姿勢溶接では、身体を動かさなければならないため、まずは窮屈な姿勢から後半楽な姿勢に持っていくことを心がける。

管の横向き姿勢溶接では、無理に長い時間アークを切らないまま同じ姿勢を保持するようなことを避けることも必要である。無理な姿勢をとりすぎるとトーチ角度が変わり、ガスシールド効果が悪くなるため、ブローホールが発生しやすくなる。同じ姿勢で長く溶接することも重要だが、無理だったら一旦溶接を止めて姿勢を正して再度溶接を行うべきである。

### 確認ヒアリング調査結果

(a) 9 mm 板溶接

イ) 前進法

(i) 2 層目 1 パス目溶接

9 mm 板前進法 2 層目 1 パス目溶接では、直線に近い運棒を行ったが、進行方向とは逆方向に戻す動きを加えた。これは、2 パス目ビードを良好に載せるために作る棚のラインを整えるためである (図 6 - 205)。

(ii) 2 層目 2 パス目溶接

9 mm 板前進法 2 パス目溶接ではたくさん盛らなければならないため、楕円形を描く運棒とした。

(iii) 3 層目 1 パス目溶接

9 mm 板 3 層目 1 パス目溶接では、やや進行方向の反対側に傾いた楕円形を描く運棒とした。これは、まっすぐの楕円形の運棒では、溶融池内の溶融金属が垂れ落ちてしまうためである (図 6 - 206)。

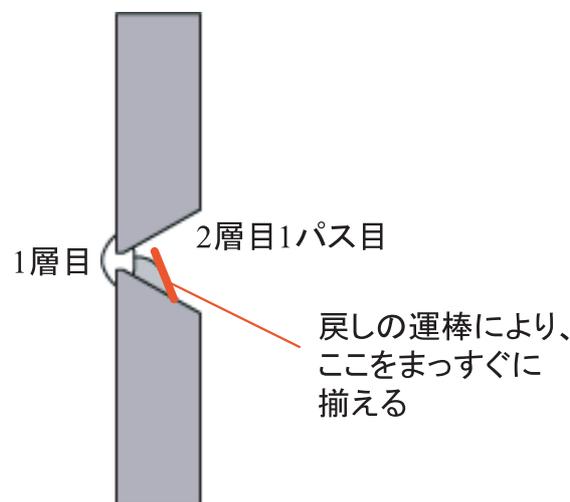
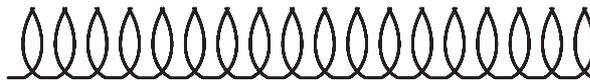


図 6 - 205 横向き姿勢溶接で戻しの運棒を行う理由

通常の運棒



高度熟練技能者の運棒



図6 - 206 横向き姿勢溶接での最終層運棒の特徴

(□) 後退法

(i) 2層目1パス目溶接

9 mm 板後退法2層目1パス目溶接の運棒は、直線に近かった。ただし、9 mm 板前進法2層目1パス目溶接と同様、進行方向とは逆の方向に戻す運棒を行った。

(ii) 3層目1パス目溶接

9 mm 板後退法3層目1パス目溶接の振り幅を広くしているのは、溶融金属の垂れを防止するためである。

(b) 12 mm 板溶接

12 mm 板前進法（後退法）2層目1パス目溶接では、9 mm 板前進法（後退法）2層目1パス目溶接と同様、進行方向とは逆の戻しの運棒を行ったが、そのほか厚くビードを盛るため、楕円形を描く運棒も行った。

一般に、板厚が厚くなったとき、ビードが高くなるので、運棒を遅くしてビードを厚く盛っている。