

## 第 7 章 分 析

## 第7章 分 析

### 1. 高度熟練技能者の溶接作業の特徴

第6章の調査結果を踏まえ、高度熟練技能者の特徴をまとめると、下記の通りである。

#### (1) 溶接準備作業における電流値の調整方法

まず、溶接準備作業における高度熟練技能者の作業の特徴として、アーク長さを適切にするための電流値の調整を、メーターだけではなく、音や金属の溶け具合などを見て行っていることが挙げられる。

溶接準備段階では、下記の手順により、アークの発生準備を行うことが、教科書などに記述されている<sup>4</sup>。

- ①溶接トーチ及び溶接用保護具、工具を準備する
- ②1次側の入力スイッチを入れる
- ③溶接棒をホルダにはさみ、溶接電流を135A程度にセットする
- ④溶接部近傍を清浄な状態にする
- ⑤正しい溶接姿勢をとり、アークの発生位置を確認する
- ⑥アークを発生させ、適切なアーク長さに保持する
- ⑦目的の位置で常にアークが発生できるよう繰り返し練習する

上記のうち、⑦のアーク長さの調整のため、電流電圧調整ダイヤルにより電流値を調整する。ただ、メーターで示される電流値は瞬間的変動が激しいため、その把握が困難なことがある。このため、高度熟練技能者は、第4章のヒアリング結果に示されている通り、メーターに示された電流値だけではなく、音や金属の溶け具合により、アーク長さが適切かどうかを判断している<sup>5</sup>。

<sup>4</sup> 安田克彦・日向輝彦『溶接技術講座（被覆アーク溶接）』（平成3年、日刊工業新聞社）参照。

<sup>5</sup> なお、高度熟練技能者が、どのような音、溶け具合によりアーク長さが適切かどうかを判断しているかについては、ヒアリング調査からは明らかにできなかった。安田克彦・日向輝彦『溶接技術講座（被覆アーク溶接）』（平成3年、日刊工業新聞社）によれば、アーク音がパチパチといった連続音がした状態が、アーク長さが適切な状態であることを示し、アーク長さが短すぎると、ワイヤと母材が短絡したり、溶融スラグを後方へ追い払うような現象となったりし、長すぎるとポーといったアーク音になる。これから、高度熟練技能者の判断も、このような基準で音や金属の溶け具合を判断していると推察される。

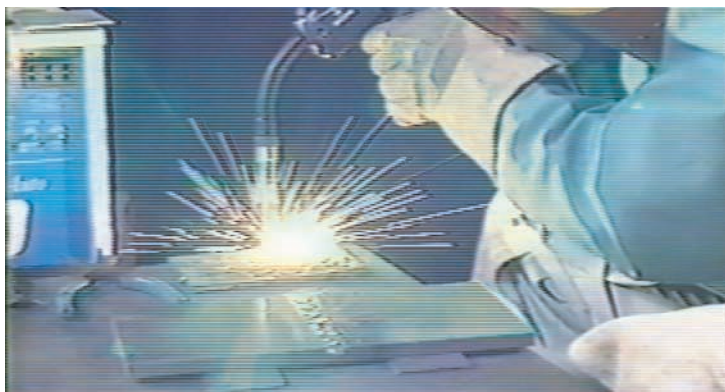


図7-1 電流値調整を行う高度熟練技能者

## (2) トーチの持ち方

全ての溶接作業で共通に見られた高度熟練技能者の特徴として、トーチの持ち方が挙げられる。溶接作業を行うとき、トーチのホルダを持つが、高度熟練技能者はホルダを、鉛筆のように持っている（図7-2）。



図7-2 高度熟練技能者のトーチの持ち方

教科書などでは、正しいトーチの持ち方として、「親指と人差し指の付け根をハンドルの上部に向け、レバーは親指の横にして、ホルダと手首と腕がほぼ直線になるように持つ」<sup>6</sup>とされている（図7-3）。実際、一般技能者のトーチの持ち方を見ると、教科書で説明されている方法で、トーチを持っている（図7-4）。

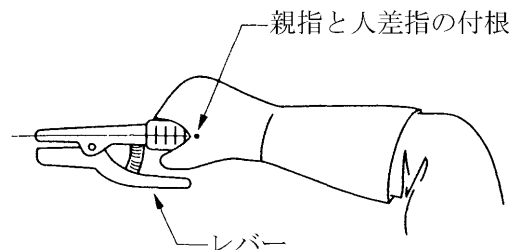


図7-3 正しいトーチの持ち方

（出所）日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）



図7-4 一般技能者のトーチの持ち方

<sup>6</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）参照。

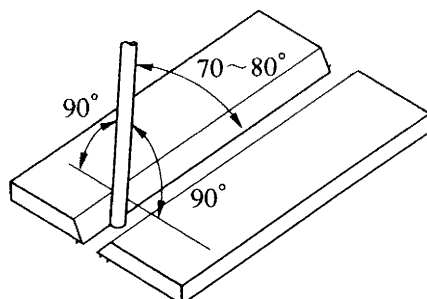


図7-5 下向き姿勢溶接の初層溶接における正しいトーチの保持角度

(出所) 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』(平成14年、産報出版)

このように高度熟練技能者が、教科書にはない方法でトーチを持っているのは、鉛筆を握るような方法で持つ方が、正しいトーチ角度を保持しやすいからである。板の下向き姿勢溶接では、初層溶接を行うとき、アークを安定させるため、横の保持角度を90度、縦の保持角度を70~80度にして、トーチを持つことが原則となっている(図7-5)<sup>7</sup>。このため、トーチを母材に対して常に立てている状態を維持する必要があるが、図5-2で示された持ち方では、溶接が進むにつれてトーチが進行方向に寝ていく(トーチの縦の保持角度が小さくなる)傾向がある。このため、高いトーチ角度を保持するため、高度熟練技能者は、図7-2のような独特の持ち方をしている。

### (3) ノズル・母材間距離の保持

通常の板の溶接(2層目以上の溶接が高電流値、後退法)に見られた高度熟練技能者の特徴として、トーチと母材の間に一定の距離が保持されていることが挙げられる。

教科書などでは、アークスタート及び溶接終了時に欠陥が出やすいため、一定のノズル・母材間距離が保持されていることが必要であることが、記述されている。適正なノズル・母材間距離は、電流値条件によりマチマチであるが、200A以下で10~15mm、200~350Aで15~20mm、300~500Aで20~25mmとされている(図7-6)<sup>8</sup>。

<sup>7</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』(平成14年、産報出版) 参照。

<sup>8</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』(平成14年、産報出版) 参照。

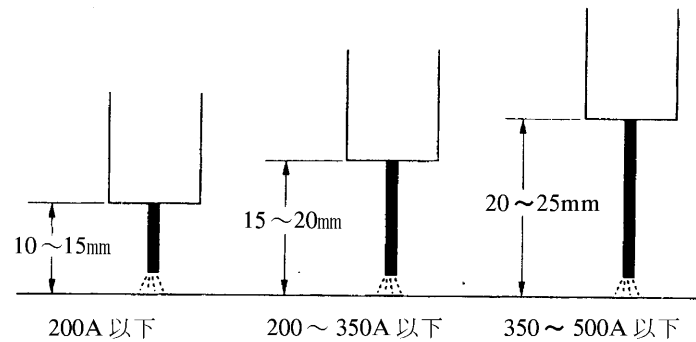


図7-6 適切なノズル・母材間距離

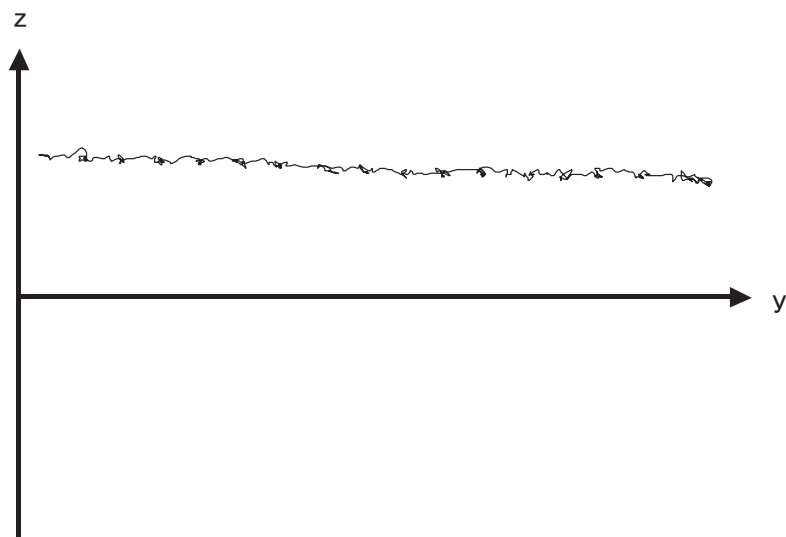
(出所) 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』(平成14年、産報出版)

今回の溶接作業結果を見ると、高度熟練技能者のトーチは安定した動きを示していたのに対し、一般技能者のトーチの高さは、高度熟練技能者に比べ不安定であった。この点を見るために、溶接技能解析システムによるトーチ軌跡を描くと、図7-7の通りとなる。いずれも9mm板の通常電流値による2層目溶接で、後退法により処理されている。図では、横軸にy軸方向、縦軸にz軸方向をとっており、zの値は、ノズル・母材間距離と平行に変動する。

これを見ると、高度熟練技能者のトーチ軌跡はトーチの変動は小幅にとどまっているのに対し、一般技能者のトーチ軌跡はトーチの上下変動が激しい。実際、z値の変動係数(標準偏差/平均値)の絶対値を比較すると<sup>9</sup>、高度熟練技能者の方が一般技能者よりも小さく、高度熟練技能者におけるノズル・母材間距離が安定していたことが窺われる(表7-1)。

<sup>9</sup> z値のばらつきを見るためには、通常標準偏差を単純比較する。しかし、溶接技能解析システムでは、対象作業ごとに、開始点を作業者の腕を固定し、原点スイッチを押すため、同じノズル・母材間距離であっても、作業によってz値は異なるため、標準偏差も原点の設定により大きく変わってくる。このため、標準偏差を平均値で除し、変動係数を計算することで、こうした原点の差違による影響を除去した。

①高度熟練技能者



②一般技能者

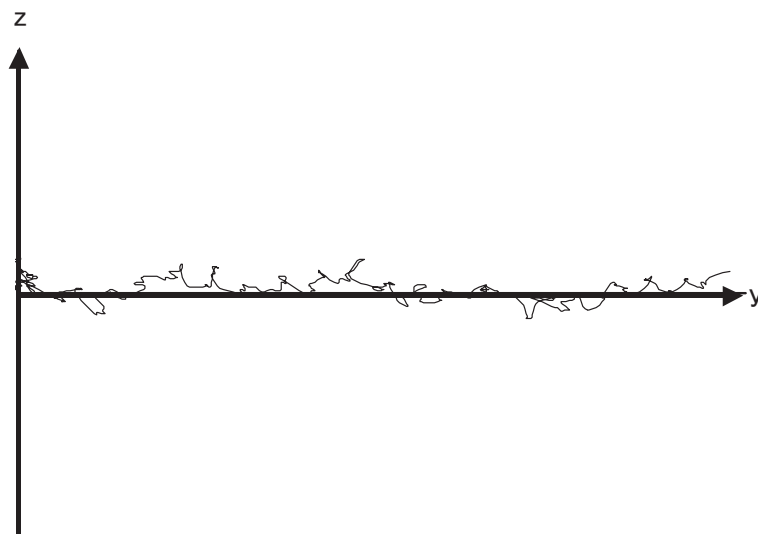


図7-7 高度熟練技能者と一般技能者におけるトーチの高さの軌跡

(注)

1. 9 mm板、2層目溶接、通常電流値(180A)、後退法のトーチ軌跡を、 $y-z$ 平面に正投影したもの。
2.  $y$ 軸は溶接方向と平行な関係にあり、 $z$ 軸はノズル・母材間距離と平行な関係にある。
3. 溶接技能解析システムによるデータ。

表7-1 高度熟練技能者と一般技能者におけるノズル・母材間距離のばらつきと比較

	高度熟練技能者	一般技能者
変動係数の絶対値	0.1711	3.1027

(注)

1. 9 mm板、2層目溶接、通常電流値（180A）、後退法のトーチ軌跡におけるz値の変動係数（標準偏差／平均値）の絶対値。
2. 溶接技能解析システムによるデータ。

#### (4) 初層溶接における特徴

##### ① 小さいウィービングによる運棒

初層溶接における高度熟練技能者の特徴としては、小さいウィービングの運棒を行っていることが挙げられる（図7-8）。

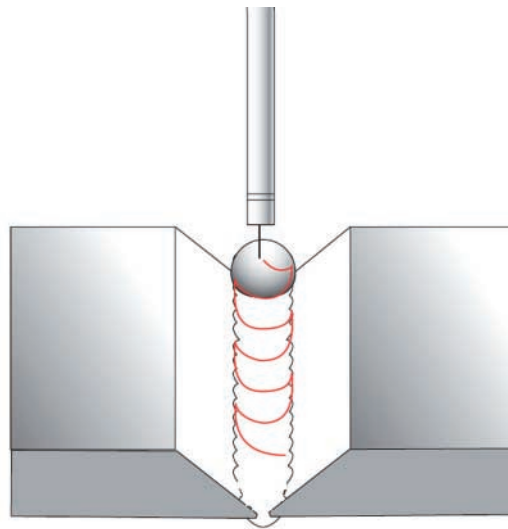


図7-8 板の初層溶接における高度熟練技能者のトーチの動き



## ② 90度に近いトーチ角度

初層溶接におけるトーチ角度を見ると、高度熟練技能者の方が進行方向の角度は90度に近い。通常前進法では、トーチを進行方向で見て、溶接金属から70～80度の角度にやや寝かして操作するため<sup>10</sup>、一般技能者のトーチ角度もそのような状態になっているが、高度熟練技能者のトーチ角度はこれよりも90度に近い数値になっている（図7-9）。高度熟練技能者によれば、このようにトーチ角度を高くしているのは、裏波が適正に出ているためで、もしトーチを寝かすと、溶けすぎて抜けてしまうリスクがあるためである。

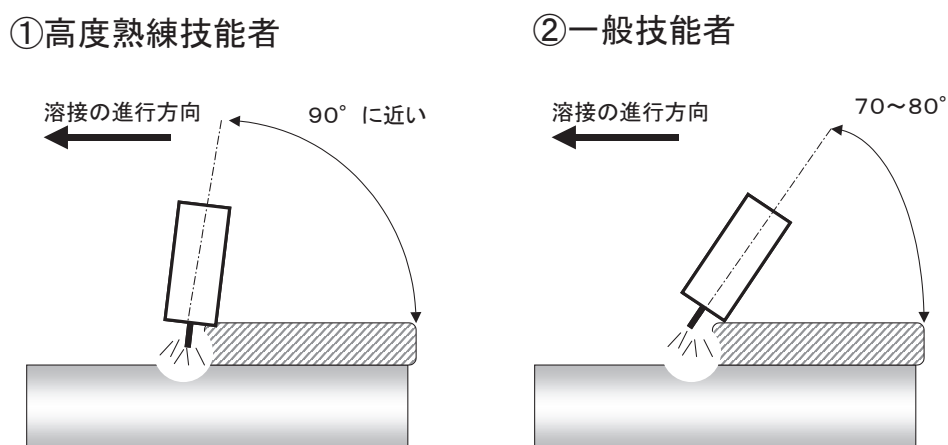


図7-9 板の初層溶接におけるトーチ角度の比較

## ③ 裏波の判断方法

初層溶接における高度熟練技能者の特徴として、裏波の状態を、溶融池の状態やアークの音などから判断していることである。

裏当て材を用いない裏波溶接では、電極と反対側にできる波形のビード（裏波ビード）を凝固させることで初層溶接を終わらせるため、裏波をしっかり出すことが溶接のポイントとなる<sup>11</sup>。溶接作業後であれば裏波の状態を直接観察できるが、溶接作業中は母材の裏側を見ることができないため、何らかの尺度により裏波を出す必要がある。

教科書などでは、溶融池の最先端部でアークを発生させていれば、適切な裏波が得られると書かれており<sup>12</sup>、ヒアリング結果でも示されている通り、一般技能者もそれを意識して初層溶接に取り組んでいた（図7-10）。

<sup>10</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）参照。

<sup>11</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）参照。

<sup>12</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）参照。

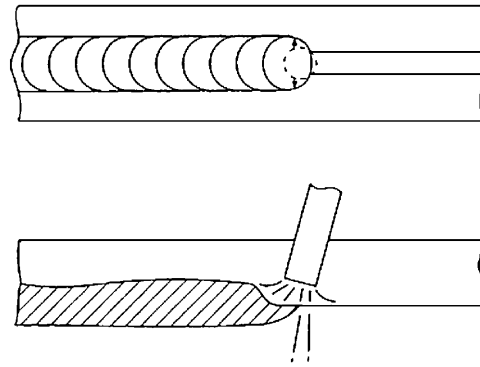


図7-10 裏波を出すためのアークの発生方法

(出所) 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』(平成14年、産報出版)

このように、溶融池の先端部分でアークを発生することにより、適切な裏波が得られやすい理由として、アークが溶融池先端に近いほどアークのエネルギーが開先裏面にまで十分供給されるため、裏波が形成されやすいことが挙げられる。実際、溶融池先端とアーク発生場所の距離、短絡移行回数、裏ビード形状の間には、図7-11のような安定した関係があり、なるべく溶融池の先端に近い部分でアークを発生すれば、適切な裏波ビードが生まれやすい。

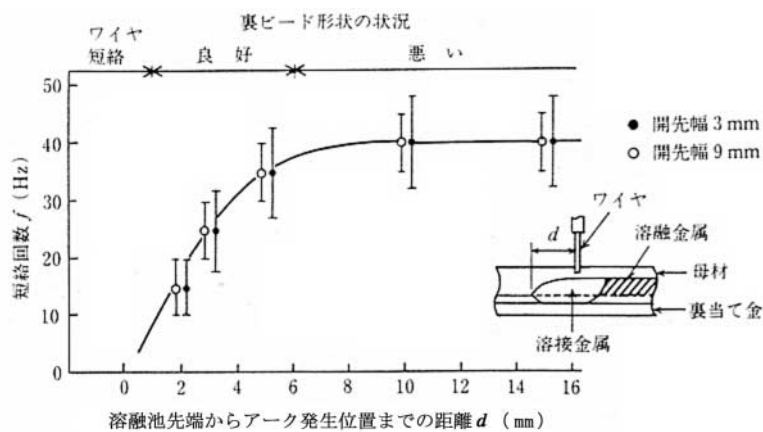


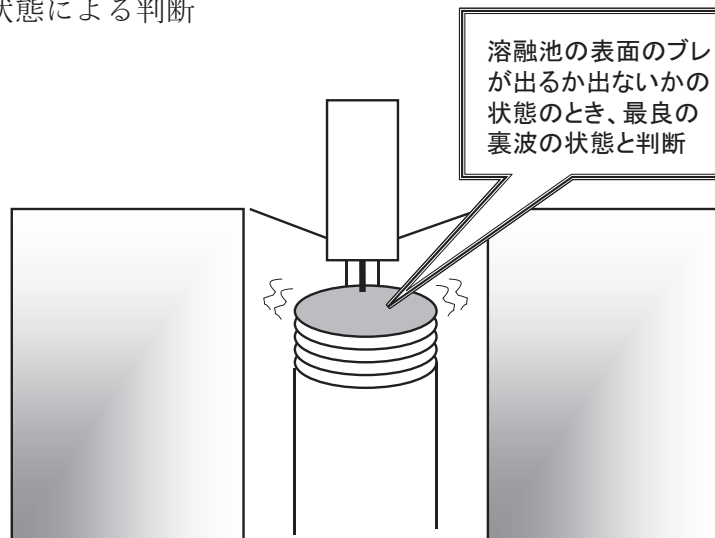
図7-11 アーク発生位置と短絡回数、裏ビード形状の関係

(出所) 溶接学会編『溶接・接合工学の基礎』(丸善、平成5年)

しかし、アークの光が非常に強く、かつ遮光ガラスを通じて溶接部分を見ているため、本当にアークが溶融池の先端部分で発生しているかどうかを正確に判断することは難しいという問題がある。

そこで、高度熟練技能者は、①溶融池の表面がブレが出るか出ないかの状態か、②アークの音が、「襖に針で刺したときの音」に近い状態かどうかにより、裏波の状態が最良かどうかを判断し、適切な裏波溶接を行っている<sup>13</sup>（図7-12）。

①溶融池の状態による判断



②アーク音による判断

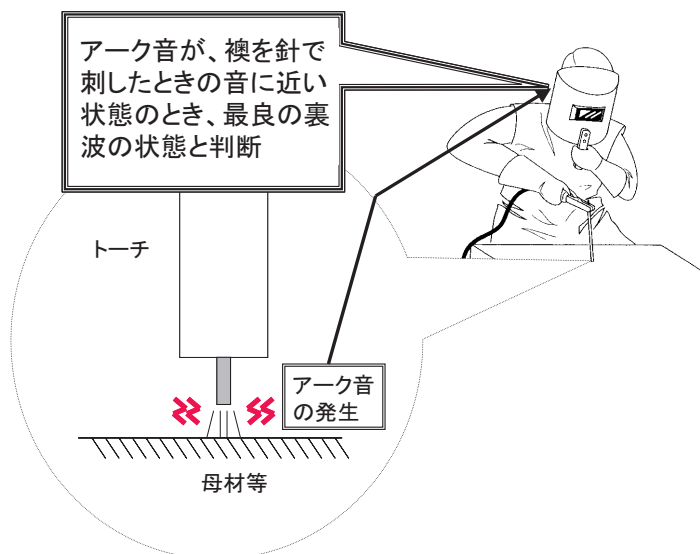


図7-12 裏波の判断方法

（注）日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）の図を一部引用して作成。

<sup>13</sup> 高度熟練技能者向けヒアリング結果による。

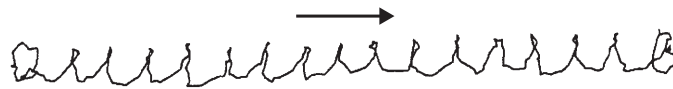
## (5) 中間層溶接における特徴

## ① ジグザグ型の運棒

中間層溶接（通常の板の溶接）における高度熟練技能者の特徴として、ジグザグ型の運棒を行っていることが挙げられる。溶接技能解析システムにより得られた、高度熟練技能者の中間層におけるトーチ軌跡を見ると、ジグザグを描き、かつ個々の山が安定している。参考までに、一般技能者のトーチ軌跡は、ジグザグ型を描いているものの、山の大きさは不安定となっている（図7-13）。

## ①高度熟練技能者

(a) 9mm板・2層目溶接



(b) 12mm板・2層目溶接

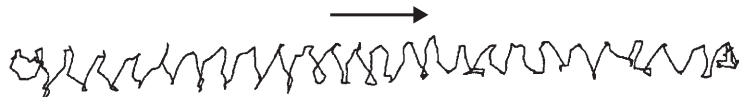


(c) 12mm板・3層目溶接

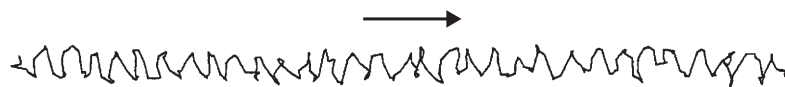


## ②一般技能者

(a) 9mm板・2層目溶接



(b) 12mm板・2層目溶接



(c) 12mm板・3層目溶接



図7-13 高度熟練技能者と一般技能者における中間層の運棒

(注)

1. いずれも通常電流値（180A）、後退法のトーチ軌跡を、x-y平面に正投影したものの。
2. 溶接技能解析システムによるデータ。
3. 一般技能者の12mm板の溶接は撮影のときは3層による溶接を行ったが、溶接技能解析システムによるデータ取りのときは4層による溶接を行った。

## ② アークの発生位置

各技能者のヒアリング結果にある通り、中間層溶接をいかに行うかにより、融合不良や割れなどの溶接欠陥を防ぐことができるかどうかが決まるため、中間層溶接には細心の注意を払わなければならない。そのポイントは、①開先面及び前溶接ビードの両止端部を十分溶かすこと、②なるべく平らにするように前層ビードを十分溶かすことの2点である。このため、両止端部でアークを発生させていることが、高度熟練技能者の特徴である。

まず、高度熟練技能者向けヒアリングでは、ビードの止端部にワイヤを送ることに注意しているとのコメントが聞かれたが、これは、溶融池の先端部のほか、両止端部でもアークが発生していることを示している。また、高度熟練技能者のトーチの動きを見ると、両止端部を十分溶かすよう運棒していることも推察される（図7-14）。

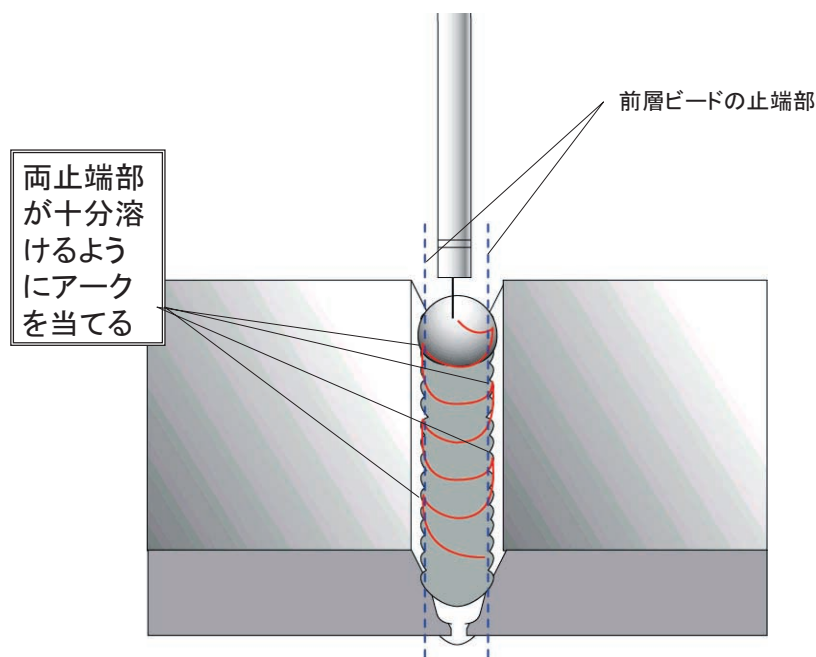


図7-14 中間層溶接における高度熟練技能者のアークの発生方法

## (6) 最終層直前の中間層溶接の特徴

## ① ビードの盛り幅

最終層直前の中間層溶接での特徴として、母材面より僅か低く、平らに仕上げていることが挙げられる。これは、仕上げのための溶接を最終層溶接で行うため、そのための余地を残しておくためである。教科書などでは、母材面から0.5～1.0mm程度低く盛り、開先線をわずかに残すことが記されている（図7-15）<sup>14</sup>。

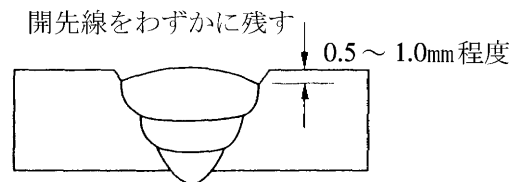


図7-15 最終層直前の中間層の溶接方法

（出所）日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）

実際、19mm板の5層目溶接（通常電流値、後退法）における高度熟練技能者の盛り方を見ると、僅かながら母材より低く持っていることが窺われる（図7-16）。

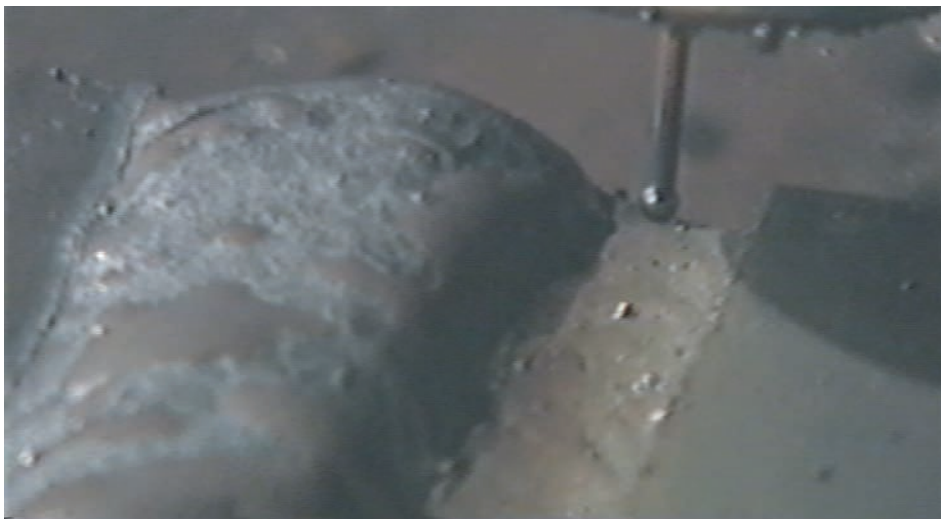


図7-16 高度熟練技能者における最終層直前の中間層の盛り方

（注）高度熟練技能者の19mm板の溶接における6層目溶接開始前の写真

<sup>14</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）参照。

② 運棒場所

最終層直前の中間層溶接では、高度熟練技能者は開先線近くまで運棒していることが特徴である（図7-17）。最終層は、開先線をかぶせて溶接作業を行うため、最終層直前の中間層は開先線近くまで盛る形になるため、このような運棒となる。

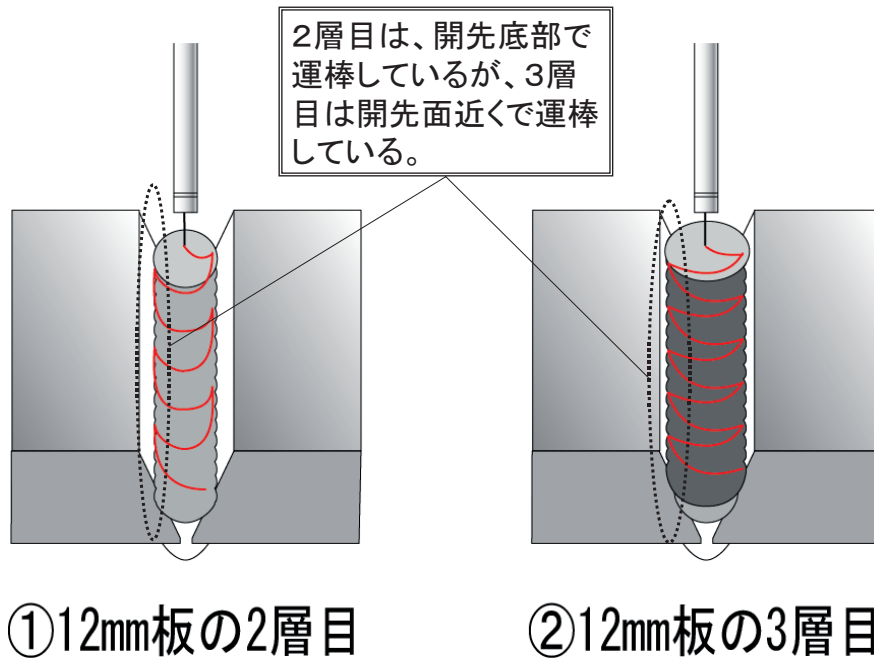


図7-17 高度熟練技能者における12mm板の中間層での運棒

(7) 最終層溶接における特徴

① 均等なウィービングピッチ幅

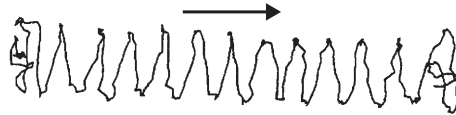
最終層溶接（通常の板の溶接）における高度熟練技能者の特徴として、ウィービングのピッチ幅が均等なことが挙げられる。溶接技能解析システムにより得られた、高度熟練技能者の最終層におけるトーチ軌跡を見ると、ほぼ等間隔のシグザグのピッチを描いている。参考までに、一般技能者のトーチ軌跡は、シグザグ型を描いているが、それぞれのピッチ幅はバラバラとなっている（図7-18）。

## ①高度熟練技能者

(a) 9 mm板・3層目溶接

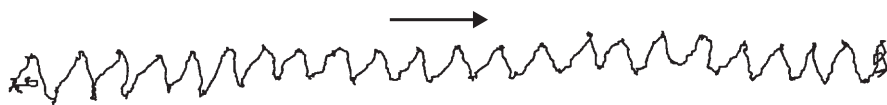


(b) 12mm板・4層目溶接



## ②一般技能者

(a) 9 mm板・3層目溶接



(b) 12mm板・4層目溶接



図7-18 高度熟練技能者と一般技能者における最終層の連棒

(注)

1. 各トーチ軌跡をx-y平面に正投影したもの。
2. 通常電流値(180A)、後退法。
3. 溶接技能解析システムによるデータ。
4. 一般技能者の12mm板の溶接は撮影のときは3層溶接を行ったが、溶接技能解析システムによるデータ取りのときは4層溶接を行った。

元来ウィービングピッチ幅を均等にしなければならない理由は、最終層においては良好な外観が求められるためである。この点は、高度熟練技能者向けヒアリングや一般技能者向けヒアリングで指摘されたことであり、教科書などにも記述されている<sup>15</sup>。このためには、きめ細かく運棒し、直線的な揃ったビード止端に仕上げる必要があり、高度熟練技能者はこの点で優れた技能を有していると判断される。参考までに、高度熟練技能者と一般技能者のビード外観を比較すると、図7-19の通りとなる。

<sup>15</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』(平成14年、産報出版) 参照。



①高度熟練技能者



②一般技能者



図7-19 高度熟練技能者と一般技能者のビード外観の比較

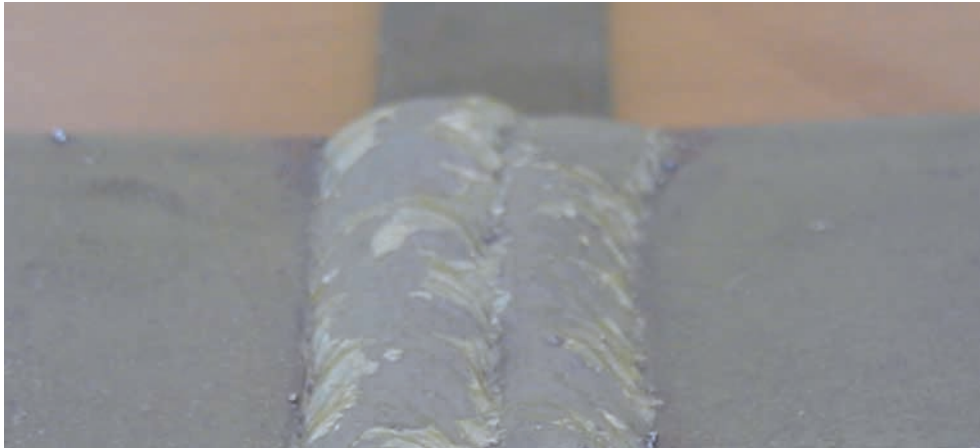
(注)

1. 12mm板・通常電流値・後退法のビード外観。
2. 撮影では、同じ板を用いて後退法と前進法の双方の作業を行ったため、写真は全体の半分となっている。

## ② ビード幅に応じた余盛り

最終層溶接における高度熟練技能者のもう1つの特徴として、ビード幅と余盛りの高さがバランスの取れたものとなっていることが挙げられる。高度熟練技能者と一般作業者の成果品について、横から写した写真を比較すると、高度熟練技能者の成果品の方が余盛りの高さが低くなっていることが窺われる（図7-20）。

### ①高度熟練技能者



### ②一般技能者



図7-20 高度熟練技能者と一般技能者における余盛りの高さの比較

(注)

1. 19mm板・通常電流値・後退法のビード外観。
2. 撮影では、同じ板を用いて後退法と前進法の双方の作業を行ったため、写真は全体の半分となっている。

教科書などでも、ビード外観を良好なものにするために、余盛りの高さを適当な大きさにすべきことが記述されており、高度熟練技能者はこれを素直に遵守していると判断される（図7-21）<sup>16</sup>。

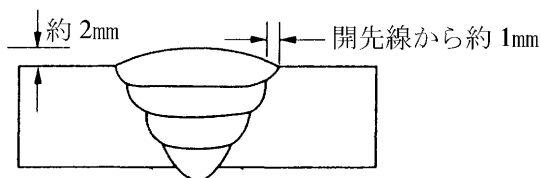


図7-21 適正なビード形状と余盛りの高さ

（出所）日本溶接学会編『新版・溶接実務入門－手溶接からロボットまで－』（平成14年、産報出版）

### ③ 溶接欠陥の防止

高度熟練技能者は、最終層溶接においても溶接欠陥の防止に配慮していることも、特徴の1つとして挙げることができる。最終層溶接では、ビード外観にとられるばかりに、アンダーカットやオーバーラップなどの溶接欠陥への配慮を忘れがちとなる。しかし、高度熟練技能者向けヒアリングによれば、最終層溶接においても、高度熟練技能者は、こうした溶接欠陥の防止を意識しており、運棒やトーチ角度の保持に気を配っている。

<sup>16</sup> 日本溶接学会編『新版・溶接実務入門－手溶接からロボットまで－』（平成14年、産報出版）参照。また、職業能力総合大学校などでは、余盛りの高さをビード幅の約4分の1にするよう指導している。

## (8) 板厚の違いによる特徴

## ① 最終層直前以外の中間層における運棒場所

板厚を9mm、12mm、19mmと変えた場合、高度熟練技能者の作業に見られた相違点として、最終層直前以外の中間層における運棒場所を挙げることができ、板厚が厚くなるほど、開先の低部での運棒となる。例えば9mm板の2層目溶接と12mm板の2層目溶接の運棒を比較すると、9mm板の2層目溶接は最終層直前となるため、ビードの仕上がり状態を考慮した運棒となり、12mm板の2層目溶接は最終層直前ではないため、溶接欠陥をなくすことに集中した開先低部での運棒となる(図7-22)。特に、板厚が厚くなると、溶接熱が逃げて融合不良を引き起こす原因となるため、止端部により多くの熱を加える必要がある。

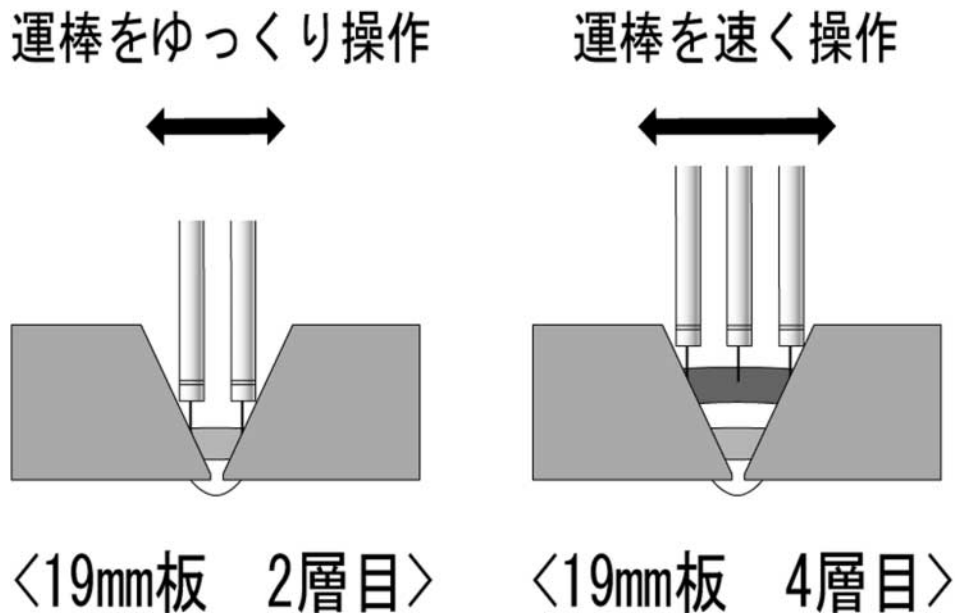


図7-22 高度熟練技能者における各板厚の運棒場所

② ウィービング幅増大に伴う運棒速度の上昇

19mm板の溶接を見ると、高度熟練技能者は4層目溶接まで1パスの溶接作業を行っていたが、運棒の移動速度は、同じ1パス溶接でも、2層目溶接よりも4層目溶接が速い（図7-23）。これは、4層目溶接の方が2層目溶接よりもウィービング幅が広がるため、もし2層目溶接と同じ速度で運棒したとき、止端部を溶かしてから、再びトーチが戻るまでの間、止端部の溶融金属が固まる可能性があり、融合不良を起こす懸念があるからである。なお、ウィービング幅が広がる層では、こうした溶接欠陥を防止する観点から、運棒速度を速めるほか、2パス以上に振り分けることが通常である。

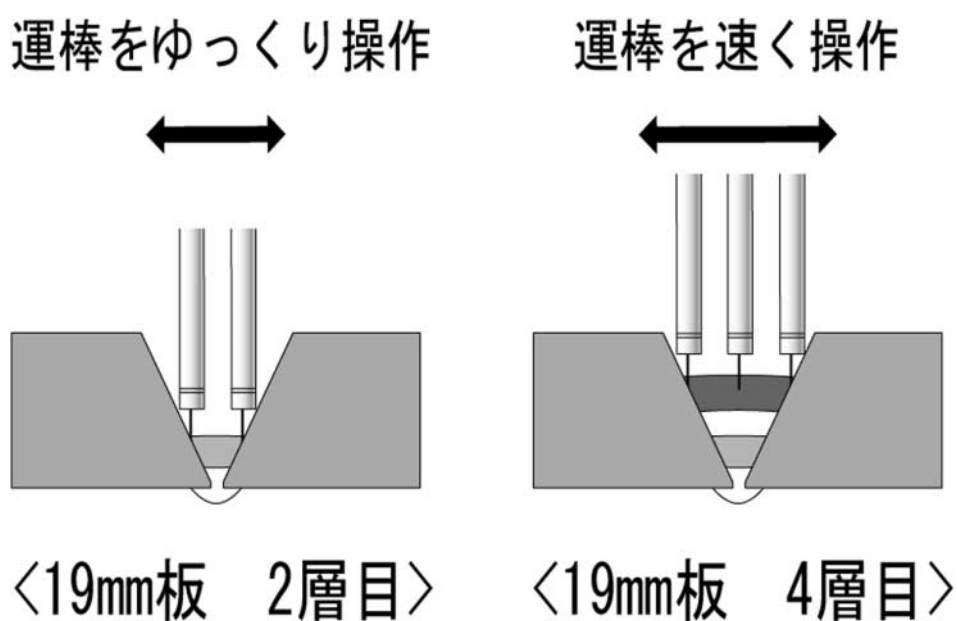


図7-23 2層目溶接と4層目溶接の運棒方法

### ③ 2パス溶接におけるビード幅の均等化

19mm板の溶接では2パス溶接作業が発生したが、高度熟練技能者は、両パスのビード幅を均等にするにより、ビード外観を良好なものとした（図7-24）。1パス溶接では、開先面を目安に左右対象に運棒すればよかったが、2パス溶接では開先の中心線が端側となり、運棒するときの目安にならないため、ビード幅がぶれやすいことが難点となる。高度熟練技能者は、2パス溶接でも安定した運棒を示したため、成果品におけるビード形状も、まっすぐで、かつ余盛りも適切な高さのものとなっている（図7-25）。

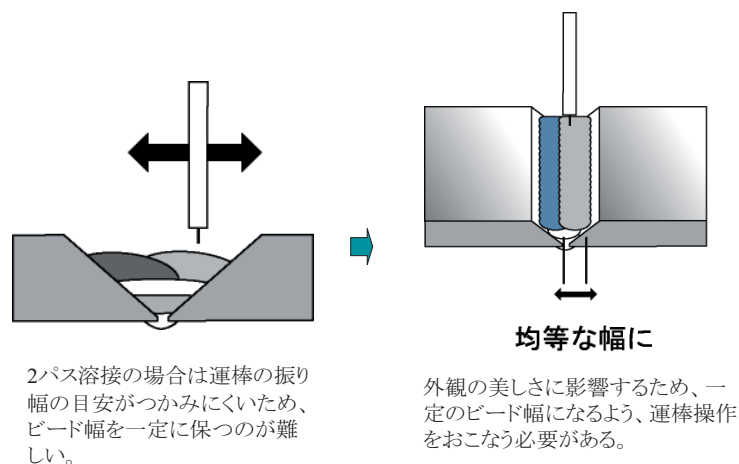


図7-24 19mm板のビード幅の設定

①高度熟練技能者



②一般技能者



図7-25 19mm板のビード外観の比較

(注)

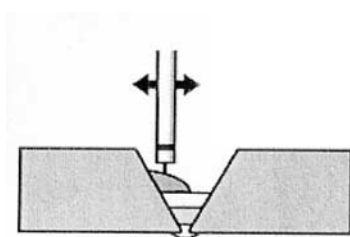
1. 19mm板・通常電流値・後退法のビード外観。
2. 撮影では、同じ板を用いて後退法と前進法の双方の作業を行ったため、写真は全体の半分となっている。

#### ④ 2パスの運棒方法の違い

高度熟練技能者の特徴として、2パス溶接において、1パス目溶接と2パス目溶接では、運棒方法が異なることが挙げられる。1パス目溶接では開先壁面と前層ビードの止端部の状態を意識して運棒を行う一方、2パス目溶接では、ビードを1パス目溶接のビードと同じ高さになるよう調整を行いながら、ウィービングの運棒を行っている（図7-26）。これは、ビード外観で問題になるのは、表に出るビード部分であり、上に被せる2パス目溶接の処理が大きな鍵を握るため、細かい処理を行うのは2パス目溶接となるからである。

##### ①最終層 1パス目溶接

開先壁面と前層ビードの止端部の状態を意識して運棒



##### ②最終層 2パス目溶接

1パス目と高さを合わせる調整を行いながら、ウィービングの運棒

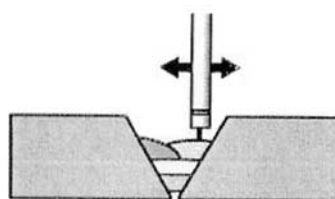


図7-26 19mm板最終層の2パスの溶接方法

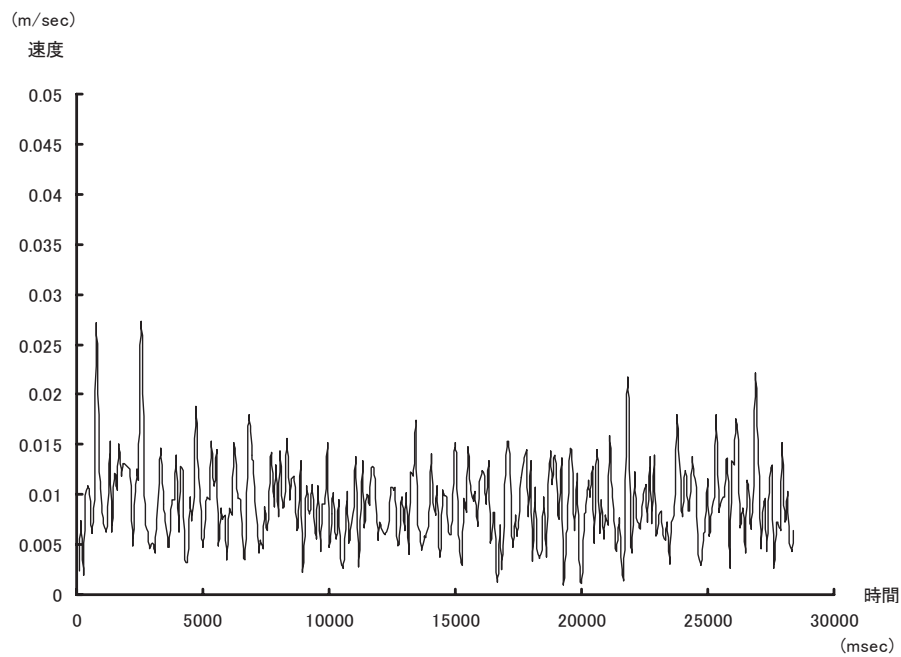
#### (9) 低電流値による溶接の特徴

##### ① ゆっくりとした運棒

低電流値（120A）にしたときの高度熟練技能者の特徴として、運棒を通常電流値よりも遅くしていることが挙げられる。電流値が低いと、母材の溶け込みが得られにくくなり、融合不良等の原因になるため、運棒のスピードを遅くし、アークの発生時間を長くしなければならない。

この点を見るため、9mm板の2層目溶接・後退法について、通常電流値のケースと低電流値のケースの運棒速度を、下式により計算すると、図7-27のようなグラフとなる。

## ①通常電流値



## ②低電流値

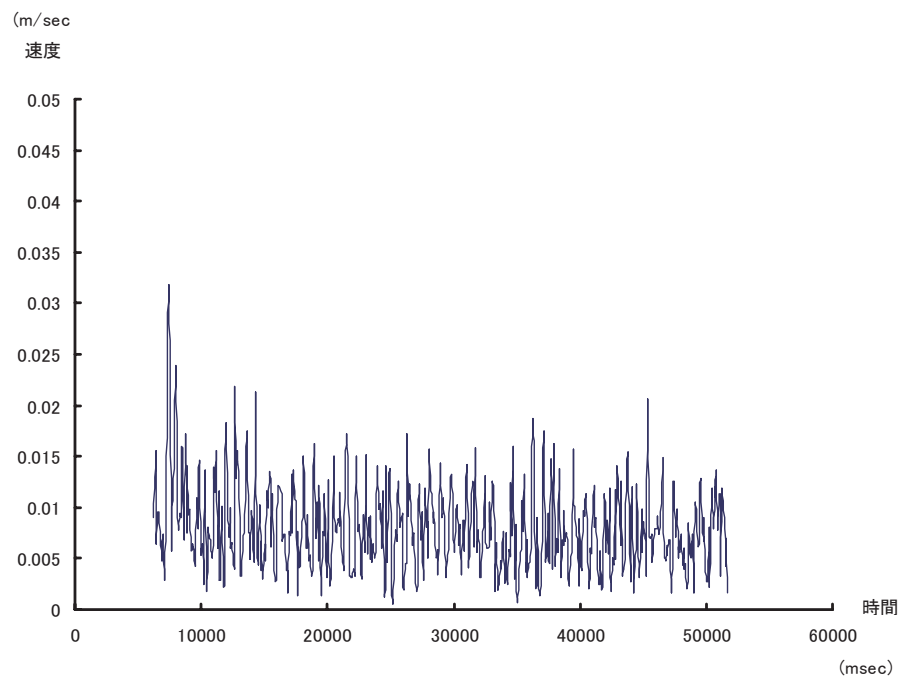


図7-27 高度熟練技能者における通常電流値と低電流値の運棒速度の比較

(注)

1. 9 mm板、2層目溶接、後退法の運棒速度（計算方法は、本文参照）。
2. 通常電流値は180A、低電流値は120A。
3. 低電流値では、電流電圧値をとるための動作が最初の10秒間弱行われたため、計算対象から除外している。
4. 溶接技能解析システムによるデータ。



表7-2 高度熟練技能者と一般技能者における平均運棒速度の比較

(単位：mm/sec)

	高度熟練技能者	一般技能者
通常電流値 (180A) ①	2.98	2.19
低電流値 (120A) ②	1.69	1.85
①-②	1.29	0.34

(注)

1. 9mm板、2層目溶接、後退法の、溶接開始から溶接終了までの平均運棒速度（計算方法は、本文参照）。
2. 溶接技能解析システムによるデータ。

$$d_i = ((x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2)^{1/2}$$

$$s_i = d_i / (t_1 - t_0)$$

但し、

$t_i$ ：時間 ( $i=0,1$ )

$(x_i, y_i, z_i)$ ：時間  $t_i$ におけるトーチの位置座標 ( $i=0,1$ )

$d_i$ ：時間  $t_0$ から時間  $t_1$ までに動いたトーチの距離

$s_i$ ：時間  $t_0$ から時間  $t_1$ までのトーチの平均速度

これを見ると、総じて低電流値の方において、運棒スピードが遅くなっていることが窺われる。また、2層目の溶接開始から同終了までの平均速度を比較すると、通常電流値では秒速2.98mmであるのに対し、低電流値では秒速1.69mmとなっており、秒速1mm以上速度が遅くなっている。なお、一般技能者について同様の計算を行うと、通常電流値の秒速2.19mmに対し、低電流値は秒速1.85mmとなり、その差は秒速0.34mmにとどまる（表7-2）。このため、高度熟練技能者の方が低電流値における運棒をゆっくりとしていることが窺われる。

## ② 運棒場所

低電流値における高度熟練技能者の運棒場所を見ると、通常電流値に比べ、開先の低部で運棒していることが窺われる（図7-28）。これは、通常電流値のように開先面の近くまで運棒すると、アークからの熱が開先面から逃げてしまうため、電流が弱いと、母材の溶け込みが得られにくくなるからである。このため、運棒場所を開先部分にとどめることで、溶融熱の発散を防ぎ、金属を効率的に溶接することが必要である。

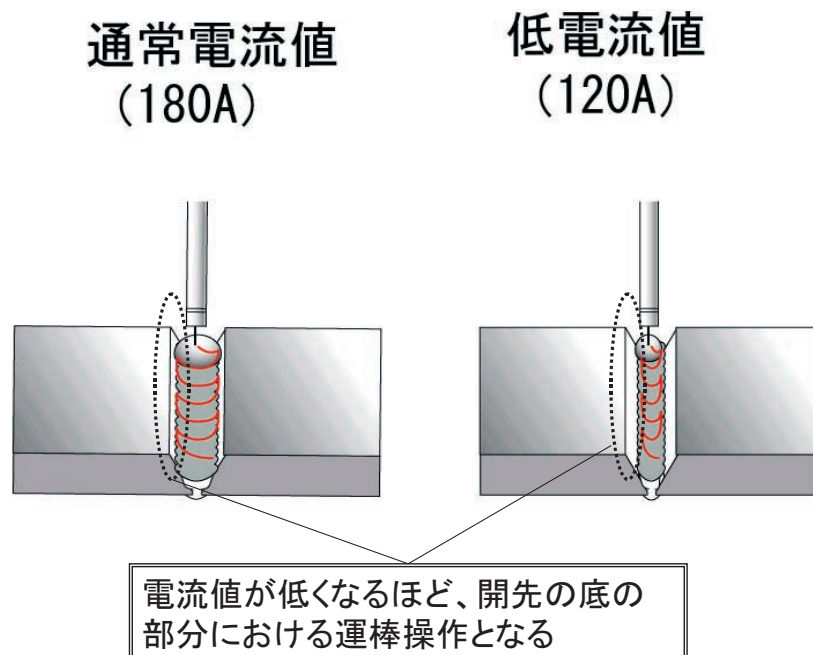


図7-28 高度熟練技能者における通常電流値と低電流値の運棒場所の比較

## ③ 最終直前層における運棒の安定性

低電流値における高度熟練技能者の別の特徴としては、運棒が安定していることが挙げられる。溶接技能解析システムによるトーチ軌跡を、高度熟練技能者と一般技能者で比較すると、高度熟練技能者はまっすぐとした軌跡を描いているのに対し、一般技能者は溶接が進むにつれてトーチ軌跡が中心線から乖離する傾向にあることが窺われる（図7-29）。

また、高度熟練技能者における  $x - y$  のトーチ軌跡の傾きが限りなくゼロに近いことを示すために、 $(x, y)$  の動きを最も近似的に表す、下式の直線を求める。

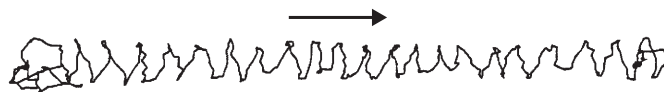
$$x = a + b * y$$

但し、 $x, y$  はトーチ軌跡の座標。 $a$  と  $b$  はパラメーターで、最小二乗法により計算する。

このとき、 $b$  の絶対値が0に近いほど、推計された直線が  $y$  軸と平行に近くなるため、 $b$  の絶対値が小さいほど、運棒が安定していることを意味する。

①高度熟練技能者

(a) 9 mm板・2層目溶接



(b) 12mm板・2層目溶接

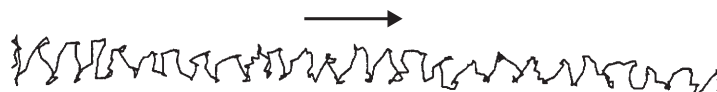


(c) 12mm板・3層目溶接

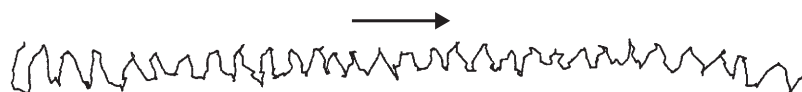


②一般技能者

(a) 9 mm板・2層目溶接



(b) 12mm板・2層目溶接



(c) 12mm板・3層目溶接

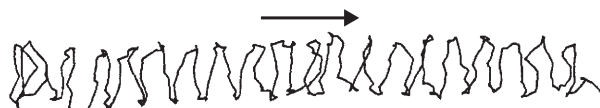


図7-29 高度熟練技能者と一般技能者における低電流値のトーチ軌跡

(注)

1. いずれも低電流値 (120A) におけるトーチ軌跡を x-y 平面に正投影したもの。
2. 一般技能者の12mm板の溶接は撮影のときは3層溶接を行ったが、溶接技能解析システムによるデータ取りのときは4層溶接を行った。
3. 溶接技能解析システムによるデータ。

表7-3 高度熟練技能者と一般技能者における運棒の安定性の比較

	高度熟練技能者	一般技能者
x-y トーチ軌跡を最も近似する直線の傾きの絶対値 ( $x = a + b * y$ の b の絶対値)	0.0006	0.0546

- (注) 1. 9mm板、2層目溶接、低電流値、後退法のトーチ軌跡(x-y)を用いて計算。  
2. 溶接技能解析システムによるデータ。

この考え方に基づき、高度熟練技能者と一般技能者の(x,y)の動きに最も近い直線を推計した結果が、表7-3である。これを見ると、高度熟練技能者の方が傾きは0に近く、高度熟練技能者の運棒が安定していることが窺われる。低電流値では金属が溶けにくいため、運棒のスピードやトーチ角度の調整が必要になるが、熟練した技能がないと、これらの調整に伴い運棒の安定性に影響が現れることを示唆していると思われる。

#### ④ 最終層溶接における楕円型の運棒

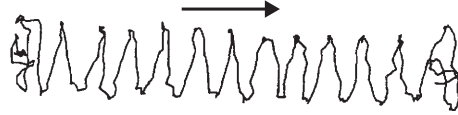
低電流値の最終層溶接で、楕円型の運棒により作業をしていることが、高度熟練技能者の特徴としては挙げられる。溶接技能解析システムによる高度熟練技能者の最終層のトーチ軌跡を見ると、通常電流値と異なり、低電流値では楕円型の軌跡を描いている(図7-30)。

①通常電流値

(a) 9 mm板・3層目溶接



(b) 12mm板・4層目溶接



②低電流値

(a) 9 mm板・3層目溶接



(b) 12mm板・4層目溶接



図7-30 高度熟練技能者における通常電流値と低電流値の最終層の運棒

(注)

1. 後退法の各トーチ軌跡をx-y平面に正投影したもの。
2. 通常電流値は180A、低電流値は120A。
3. 溶接技能解析システムによるデータ。

なお、教科書などでは、最終層溶接における運棒はジグザグ状の軌跡を描くように記述されており、一般技能者もそのように操作している（図7-31、図7-32）。高度熟練技能者が、このような独特な方法をとっている理由としては、低電流値では、このような楕円形の動きの方がトーチ角度の保持、運棒速度の調整が行いやすいということ、経験上つかんでいるためと推察される。

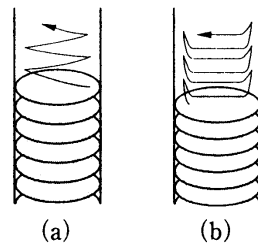


図7-31 最終層溶接における運棒

（出所）日本溶接学会編『新版・溶接実務入門—手溶接からロボットまで—』（平成14年、産報出版）

① 9 mm板・3層目溶接



② 12 mm板・4層目溶接

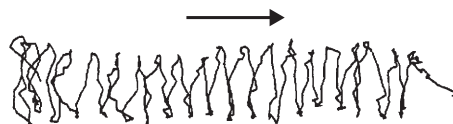


図7-32 一般技能者における低電流値の最終層の運棒

（注）

1. 低電流値（120A）の後退法の各トーチ軌跡をx-y平面に正投影したもの。
2. 一般技能者の12mm板の溶接は撮影のときは3層溶接を行ったが、溶接技能解析システムによるデータ取りのときは4層溶接を行った。
3. 溶接技能解析システムによるデータ。

(10) 前進法における特徴

① 正しいアークの発生方法の保持

前進法における高度熟練技能者の特徴は、溶融池の先端部分でアークを発生させるという正しいアークの発生方法を、前進法でも維持していることである。高度熟練技能者と一般技能者について、前進法におけるアークの発生位置とトーチの関係を比較すると、高度熟練技能者では、溶融池の先端部分でアークが発生しているのに対して、一般技能者では、アークの発生部分が溶融池の中になることがしばしばあり、正しいアークの発生方法を保持できていない（図7-33）。

このように、前進法では正しいアークの発生方法を維持しにくい理由としては、溶接方向とトーチの方向が同一方向のため、アークを発生させるポイントを見定めにくく、溶融池内の溶融金属が先行しやすくなることが考えられる。この点は、一般技能者向けヒアリングでも指摘されており、前進法では、なかなか溶融池の先端部分を狙いきれなかったとのことである。

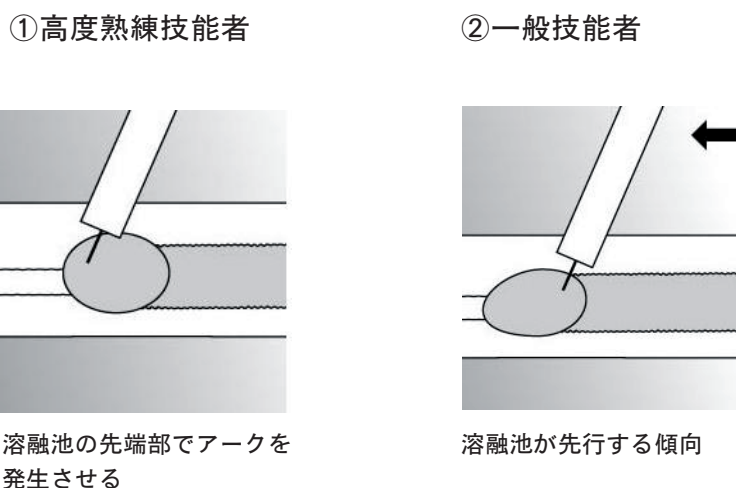


図7-33 前進法での高度熟練技能者と一般技能者における溶融池とトーチの関係

## ② 運棒の安定性

高度熟練技能者の運棒は、前進法でも安定している。高度熟練技能者と一般技能者について、前進法におけるトーチ軌跡を比較すると、高度熟練技能者は概ね横ばいの軌跡をたどっているが、一般技能者は中心線から乖離する傾向が窺われる（図7-34）。これは、前進法ではアークを発生させるポイントを見定めにくいので、運棒も不安定になりがちであるためと推察される。

## ①高度熟練技能者



## ②一般技能者

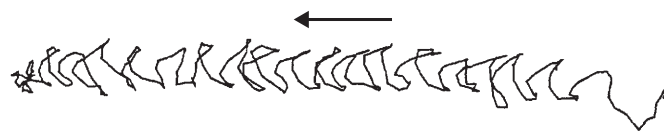


図7-34 高度熟練技能者と一般技能者における前進法の間層の運棒

(注)

1. 9 mm板、2層目溶接、通常電流値（180A）、前進法のトーチ軌跡をx-y平面に正投影したもの。
2. 溶接技能解析システムによるデータ。



## 2. 分析結果から推察される高度熟練技能者のカンとコツ

### (1) 通常の溶接条件の下でのカンとコツ

通常の溶接条件（2層目以上の溶接の電流値180A、後退法）の下での、板の溶接に関わるカンとコツを整理すると、表7-4の通りである。

#### ① 溶接準備

溶接準備でのポイントは、溶接時に適切なアークの長さを出すため、電流値の調整を事前に行うことである。

これを行うために、通常電流電圧調整ダイヤルのメーターを見て操作する。しかし、電流計の表示する数値は激しく変動するため、高度熟練技能者は、メーターのほか、アーク音（パチパチといった連続音が出るか）や金属の溶け具合（溶融スラグを後方へ追い払うような現象が生じていないか）からも、アークの長さが適切かどうかを判断している。

#### ② 初層溶接

初層溶接でのポイントは、適切な裏波を出すことである。

これを行うために、①運棒を小さなウィービングで行うこと、②90度に近いトーチ角度を保持すること、③溶融池の状態（表面にブレが生じるか生じないかの状態）やアーク音（襖に針を刺したときの音に近い状態）により、裏波の状態を判断すること等が、高度熟練技能者がとっている方法である。

#### ③ 中間層溶接

中間層溶接のポイントは、融合不良をなくすことと、後の層がうまく盛れるようにすることである。

これを行うため、高度熟練技能者は、①ジグザグ型に運棒すること、②アークを溶融池の先端部分と両止端部で発生させること、等を実践している。

#### ④ 最終層直前の中間層溶接

最終層直前の中間層溶接のポイントは、最終層がうまく盛れるようにすることである。

これを行うため、高度熟練技能者は、①母材面より僅かに低くなるように仕上げ、かつ平らに盛れるようにすること、②開先線の近くまで運棒すること、等を実施している。

## ⑤ 最終層溶接

最終層溶接のポイントは、ビード外観をきれいにすることと、アンダーカットやオーバーラップなどの溶接欠陥を防ぐことである。

ビード外観をきれいにするため、高度熟練技能者は運棒のウィービングを、ピッチ幅が均等になるよう行うとともに、余盛りの高さもビード幅に応じた高さ（ビード幅の4分の1程度）にしている。

また、溶接欠陥をなくすために、高度熟練技能者は、最終層溶接でもトーチ角度の保持、ノズル・母材間距離の維持等に留意し、鉛筆のようにトーチを持つことにより、対応している。

表7-4 通常の板の溶接におけるカンとコツ

項 目	ポ イ ン ト	活用されるカンとコツ
溶接準備	板厚に応じた適切なアークの長さにするため、電流値を調整する。	アーク音や金属の溶け具合から、アークの長さが適切であることを判断する。
初層溶接	適切な裏波を出す。	①小さなウィービングにより運棒する。 ②90度に近いトーチ角度を保持する。 ③溶融池の状態やアーク音により、裏波の状態を判断する。
中間層溶接	①融合不良をなくす。 ②後の層がうまくのるようになる。	①ジグザグ型に運棒する。 ②アークを溶融池の先端部分と両止端部で発生させる。
最終層直前の中間層溶接	最終層がうまく盛れるようになる。	①母材面より僅か低く、平らに仕上げる。 ②開先面の近くまで運棒すること。
最終層溶接	①ビード外観をきれいにする。 ②溶接欠陥を防ぐ。	①均等なピッチ幅でウィービングを行う。 ②ビード幅に応じた余盛りの高さにする。 ③トーチ角度の保持、ノズル・母材間距離の維持等に気をつける。

## (2) 特殊な溶接条件の下での対応方法

板の溶接において、板厚や電流値、トーチ角度（前進法か後退法か）などの溶接条件が変わったとき、溶接作業の難易度が変わる。これらの条件の変化に伴う対応方法は、表7-5の通りである。

### ① 板厚が厚くなったとき

板厚が厚くなると、両止端部が溶けにくくなることと、開先幅が広がるため、2パス溶接を行わなければならない箇所が現れ、そのビード外観を保ちにくくなることの2点に留意しなければならない。

両止端部の溶けにくさへの対応方法としては、運棒場所を開先低部で行い、開先面からの溶接熱の拡散を防ぐことが挙げられる。

2パス溶接のビード外観を良好なものにするためには、①ビード幅を均等に盛ること、②2パス目溶接のビードを1パス目溶接のビードと同じ高さになるように行い、良好な外観が得られるよう調整すること、が対応方法となる。

### ② 電流値が低くなったとき

電流値を初層溶接と同じ120Aのまま、2層目以降の溶接を行おうとするとき、母材の溶け込みが得られにくくなることに留意しなければならない。

これに対処するためには、①通常電流値のときよりも、運棒速度を大きく低下させること、②開先の低部で運棒すること、③トーチ角度や運棒速度の調整により、母材の溶け具合を調整すること、④最終層溶接で楕円形を描く形で運棒することで、トーチ角度の保持やノズル・母材間距離の保持を図ること、が主な対応方法となる。

### ③ 前進法で作業をしたとき

初層溶接と同様、2層目以降も前進法で作業を続けたとき、溶融池内の溶融金属がアークよりも先行しやすくなることに留意しなければならない。

このため、①溶融池の先端部分を見定め、アークをしっかりと発生させること、②運棒を安定させることなどにより、対応することが考えられる。

表7-5 板の溶接における特殊な条件下での対応方針

条件の変化	留意すべき点	対 応 方 針
板厚が厚くなったとき	両止端部が溶けにくくなる。	開先低部で運棒し、溶接熱の開先面からの拡散を防ぐ。
	2パス溶接のビード外観を保ちにくい。	①ウィービングピッチ幅を均等にする。 ②2パス目溶接のビードを1パス目溶接のビードと同じ高さになるように行う。
電流値を低くしたとき	母材の溶け込みが得られにくい。	①通常電流値より運棒速度を遅くする。 ②開先の低部で運棒する。 ③トーチ角度や運棒速度を適宜調整する。 ④最終層溶接で楕円型に運棒する。
前進法で作業をしたとき	溶融池内の溶融金属が先行しやすくなる。	①溶融池の先端部分を見定め、アークをしっかりと発生させる。 ②運棒を安定させる。

### (3) 丸鋼管下向き姿勢溶接への適用

第4章で述べた通り、丸鋼管の下向き姿勢溶接は、低電流値、前進法の特徴を有するため、(2)の対応方法を踏まえると、以下の点に留意して作業を実施しなければならない。

#### ① 開先の低部で、ゆっくりと運棒すること

丸鋼管溶接では全周にわたり初層と同じ低電流値で溶接を行うため、運棒速度を下げ金属をよく溶かすとともに、開先の低部で運棒することにより、溶融熱が外に逃げないようにすることが必要になる。

#### ② トーチ角度や運棒速度の調整により、溶融金属が先行しないようにすること

丸鋼管溶接では、全ての層で前進法を採用するため、ビードが凸になりにくい一方、溶融池内の溶融金属がアークより先行しやすい。このため、溶融金属先行による融合不良を防ぐため、溶接のスピードを上げることで、溶融金属が先行しないようにすることが必要である。

### (4) カンとコツの身に付け方

高度熟練技能者は、溶接作業の基本を身に付けているが、それにプラスして、教科書などには書かれていない独特な方法をとっている。例えば、高度熟練技能者はホルダを、鉛筆のように持っているが、これは、この技能者にとって、トーチ角度を保持したり、

トーチと母材間の距離を維持したりするには、このような持ち方の方がやりやすいためである。同様に、低電流値の最終層の溶接で、高度熟練技能者が楕円形で運棒するのも、トーチ角度や運棒速度の調整に適した方法と同技能者が判断しているためである。

このように、教科書などで記述された溶接作業の基本は重要であるが、それだけで終始することは溶接技能を習得・発展させる上で必ずしも好ましいことではない。溶接作業の基本目標を達成するためには、どのようなプロセスでアプローチすべきかという視点で、溶接作業に取り組むことが重要である。高度熟練技能者向けヒアリングにある通り、このような技能は誰かに教わって習得できるものではなく、自分なりに適した方法は何かを追求した結果得られたものである。時には、先輩のやり方を十分に観察し、盗み取ることも必要である。