

第7章 分析について

第7章 分析について

1. 第1課題：水平固定管に応用可能な板の炭酸ガス半自動立て向き溶接作業

第6章の調査結果を踏まえ、下記の視点から高度熟練技能者の作業内容を分析し、特徴を抽出する。なお、ここで抽出された特徴は、今回作業協力をしていただいた高度熟練技能者の特徴であって、高度熟練技能者一般の特徴ではない。

(分析の視点)

溶接姿勢の面における高度熟練技能者の特徴は何か。

トーチの構え方の面における高度熟練技能者の特徴は何か。

各層溶接の運棒操作の面における高度熟練技能者の特徴は何か。

板厚条件を変更したときの対処法における高度熟練技能者の特徴は何か。

溶接層数を変更したときの対処法における高度熟練技能者の特徴は何か。

(1) 高度熟練技能者の作業の特徴

溶接姿勢の特徴

(a) リラックスした姿勢の保持

高度熟練技能者の溶接姿勢の特徴としては、両肘を足の上におき、リラックスした状態を保ちながら、溶接作業を行っていることが挙げられる(図7-1)。このように高度熟練技能者がリラックスした姿勢を保持しているのは、そうすることで、溶接のポイントとなるトーチ角度の保持、母材ノズル間距離の安定等を長時間にわたって維持することができるからである。高度熟練技能者のヒアリングにあるとおり、緊張した姿勢で作業を行うと、トーチ角度がぶれたり、母材ノズル間距離が不安定になったりし、ガスシールド効果を保てなくなり、ブローホールなどの溶接欠陥の原因になることが懸念される。

なお、溶接姿勢のとり方には、作業員それぞれに合った姿勢があり、必ずしも上記の高度熟練技能者の姿勢が正しい姿勢ではないことに注意しなければならない。また、今回は溶接技能解析システムを装着した特殊条件の下で作業を行ったため、作業員が通常の溶接ではとらない姿勢を強いられていることも考慮する必要がある。



図7 - 1 立て向き姿勢溶接における高度熟練技能者の溶接姿勢

(b) **厳しい姿勢からの作業開始**

高度熟練技能者の作業姿勢のもう1つの特徴は、厳しい姿勢から溶接作業を開始していることである。高度熟練技能者は、最初腕を伸ばした状態で溶接作業を開始し、徐々に腕を緩め、トーチを持ち上げている。

このような姿勢を高度熟練技能者がとっている理由としては、最初厳しい姿勢で作業を開始した方が、長時間適正な姿勢を維持できると判断しているからである。高度熟練技能者向けのヒアリングでも、その点は確認できる。

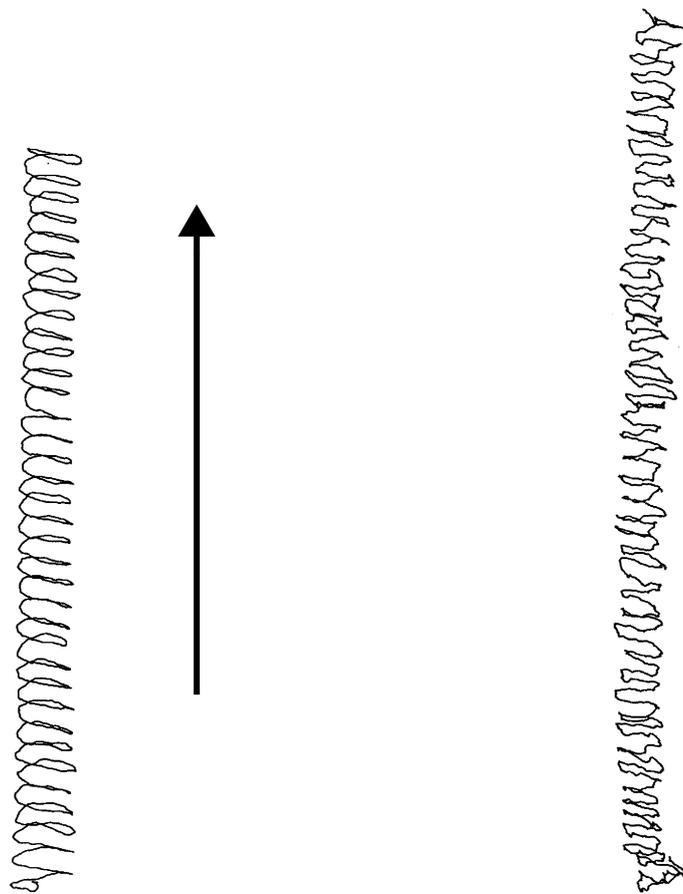
トーチの構え方の特徴

(a) **母材ノズル間距離の安定**

高度熟練技能者のトーチの構え方を見ると、母材ノズル間距離が安定していることが特徴として挙げられる。トーチの動きの映像を見ると、高度熟練技能者はノズルと母材の間の距離が安定していることが窺われる。また、ヒアリング調査結果を見ると、高度熟練技能者が母材ノズル間距離の保持を強く意識していたのに対し、一般技能者はその点に対する意識は少なかった。

高度熟練技能者

一般技能者



(注)

- 1 . 9 mm 板立て向き姿勢3層目溶接のトーチ移動軌跡
- 2 . 溶接方向は、下から上である。

図7 - 2 立て向き姿勢溶接におけるトーチ移動軌跡

また、トーチ移動軌跡のデータからもこの検証は可能である。正確に母材ノズル間距離を測定することは難しいが、立て向き姿勢溶接の場合、x座標の数値が母材ノズル間距離と平行な関係にあるため、このx値の安定性を検証すれば十分である。検証方法としてはデータのばらつきを表す標準偏差を計算すればいいが、原点や各座標軸の取り方が、各板厚各層各パスについて必ずしも一定ではないため、こうした影響を除くため、標準偏差を平均値で除した変動係数を比較する。

まず、9 mm 板3層目溶接におけるトーチ移動軌跡を見ると、高度熟練技能者はまっすぐなトレンドを描いているのに対し、一般技能者は右上がりのトレンドを描いている(図7 - 2)。

次に、9 mm 板の立て向き姿勢溶接について、高度熟練技能者と一般技能者におけるx値の変動係数を比較すると、表7 - 3のとおりである。これを見ると、概

ね高度熟練技能者の方が一般技能者よりも x 値の変動係数が小さく、母材ノズル間距離が安定していたことが窺われる。

このように、母材ノズル間距離の安定に気を配るのは、ガスシールド効果に影響が生じるためである。母材ノズル間距離が離れすぎると、ノズルと母材の間からガスが外へ逃げやすくなるため、溶接中に空気が溶接雰囲気中に侵入し、ブローホールやピットなどができやすくなる。なお、一般技能者の変動係数が非常に大きい値を示し、y 値のぶれが大きくなっている理由として、溶接技能解析システムと装着した状態で、かつ溶接部分のアップ映像が撮影できるように、窮屈な姿勢を強いたことの影響があることに注意しなければならない。

表 7 - 3 立て向き姿勢溶接における母材ノズル間距離の安定状況

	1 層目	2 層目	3 層目
高度熟練技能者	1.799	0.613	0.063
一般技能者	0.839	1.072	0.320

(注)

1. ルート方向の座標値 (x 値) の変動係数 (標準偏差 / 平均値) の絶対値。座標軸のとり方によりマイナスの値にもなるため、誤解を避けるため絶対値表示とした。

2. 9 mm 板立て向き姿勢溶接の数値。

高度熟練技能者



一般技能者

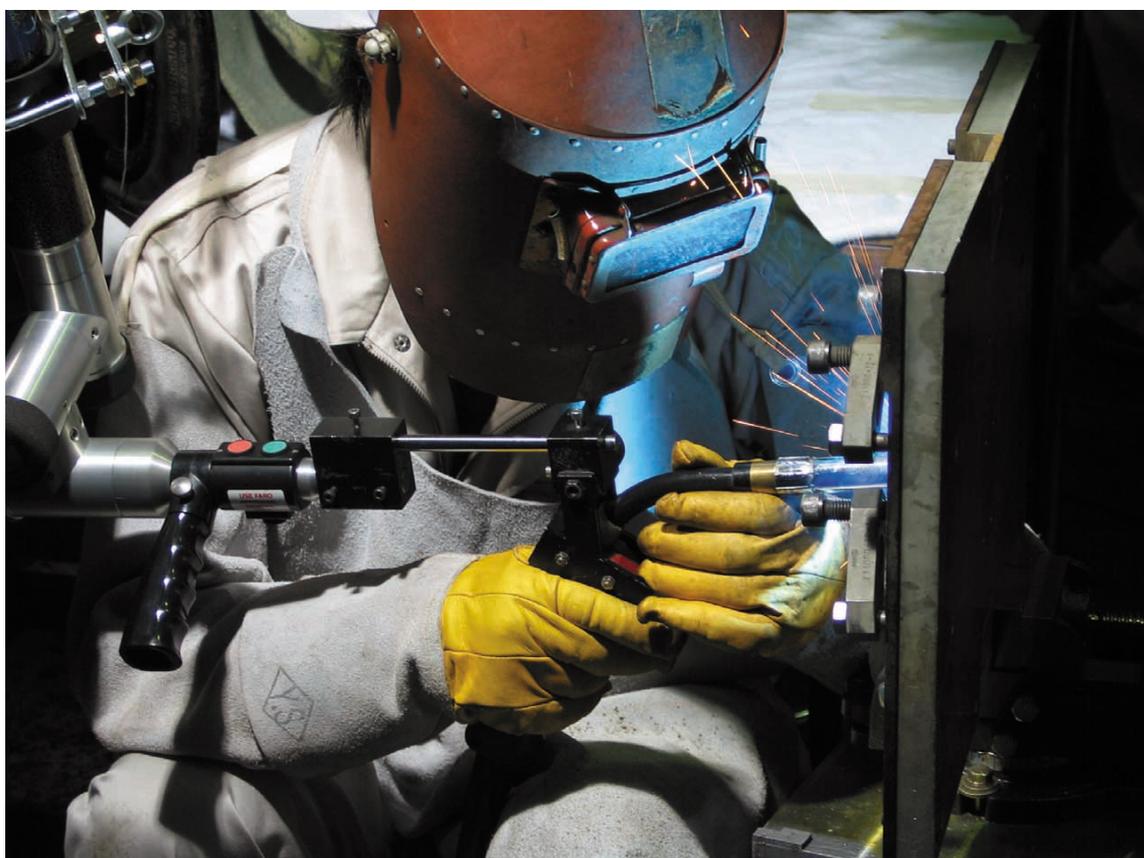


図7-4 立て向き姿勢溶接におけるトーチの構え方の比較

(b) やや下向きのトーチ角度

高度熟練技能者が、トーチを下向きに向けて構えていることも、トーチの構え方の特徴である。トーチ角度について、高度熟練技能者と一般技能者を比較すると、一般技能者がやや上向きにトーチを構えているのに対し、高度熟練技能者は下向きにトーチを構えている（図7 - 4）。

このように高度熟練技能者がトーチを下向きに構えるのは、できるだけトーチを立てた方がガスシールド効果が高いからである。この点は、高度熟練技能者向けヒアリングからも確認でき、これまでの溶接業務経験から得た知識である。

なお、トーチの構え方は上向きにすることがあくまでも基本であり、この高度熟練技能者独特の構え方が必ずしも常に正しいというわけではないことに注意すべきである。

初層溶接の特徴

(a) 溶融池の揺れによる裏波の判断

初層溶接における高度熟練技能者の特徴としては、溶融池表面の金属の揺れにより裏波の状況を判断していることが挙げられる。初層溶接では、裏波を出すことに重点がおかれた運棒が求められるが、どのように裏波の状況を判断するかがポイントとなる。

ヒアリングによれば、横向き姿勢溶接と同様、高度熟練技能者は溶融池表面にある金属が揺れている状態のとき、適正な裏波が出ている状態であると判断している。これに対し、一般技能者は溶融池の先端が欠けている状態かどうかにより、裏波の状況を判断している。

実際、9 mm 板溶接における1層目溶接の溶融池の状況を比較すると、高度熟練技能者の溶融池は進行方向の先端の表面金属が揺れているのに対し、一般技能者の溶融池は、進行方向の先端に穴（キーホール）があき、その穴と溶融池の進行方向の先端が重なり、三日月状に欠けた形状を示している（図7 - 5）²⁰。

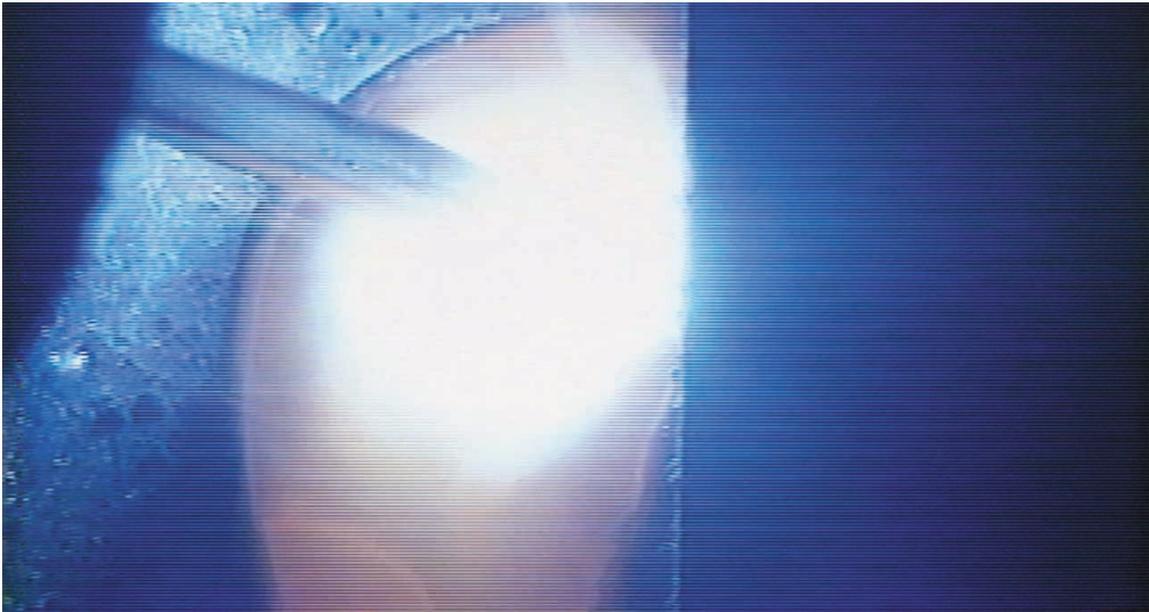
このように、高度熟練技能者が溶融池表面の金属の揺れで裏波が適正かどうかを判断するのは、裏波が発生するのは溶融金属が薄いところでアークを発生させたときであるため、溶融金属の薄さのため、アーク照射による振動で溶融池の表面金属が揺れやすくなるからと思われる。この場合、音もあたかも溶融池の表面を何かで叩いているような音になるため、高度熟練技能者の事前ヒアリングにもあるとおり、アーク音の状態も適正な裏波が出ているかどうかを判断するための1つの材料とし

²⁰ 実際には、高度熟練技能者は9 mm 板立て向き姿勢1層目溶接で、適正な裏波がでていいるかどうかを、上記の溶融池の揺れで判断する方法のほか、一般技能者が行った溶融池の形状で判断する方法も実践してもらった。

ている。

なお、溶融池の揺れで裏波を判断する方法では、溶融地の表面金属が揺れているかどうかは判別しにくく、熟練を要するのに対し、溶融池の形状で判断する方法では、キーホールを目安に溶融池の位置を把握し、安定させるようにするため、裏波が出ているかどうかの判断も明確にできるとともに、裏波のビード幅も安定するというメリットもあり、初級者向けである。

高度熟練技能者



一般技能者



(注) いずれも9 mm 板 1 層目溶接における溶融池の写真。

図7 - 5 立て向き姿勢溶接における溶融池の形状の比較

中間層溶接の特徴

(a) ルート方向に逆V字を描く運棒

中間層溶接における高度熟練技能者の運棒の特徴として、ルート方向に逆V字を描く運棒を行っていることが挙げられる。すなわち、左 ルート方向 右 ルート方向 左.....を繰り返し、ルート方向を頂点とする逆三角形の運棒を行っている。これに対し一般技能者は、通常のジグザグを描く梯子型のウィービングを行っている(図7-6)。

この点について、トーチ移動軌跡データにより検証するため、9mm板2層目溶接について板を上から見たx-y平面上へのトーチ移動軌跡の正射影を見る。高度熟練技能者のトーチ移動軌跡は、ルート方向を頂点とする逆V字型となっている。これに対し、一般技能者の左下がりの直線状に分布しており、ルート方向に入り込まない水平の運棒を行っていたことが窺われる(図7-7)。

高度熟練技能者が、このような運棒を行う理由としては、平らな中間層ビードを形成するため、真中部分をよく溶かすためである。高度熟練技能者のヒアリングによれば、平らな中間層に仕上げ、かつ溶接欠陥を防ぐためには、真中をへこませた運棒が効果的と判断している。この方法が唯一絶対の方法というわけではないが、中間層における融合不良を回避する方法として参考になるとと思われる。

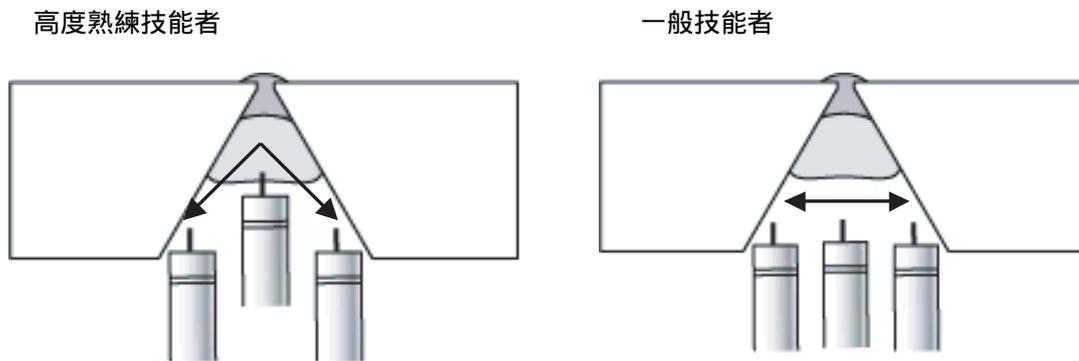
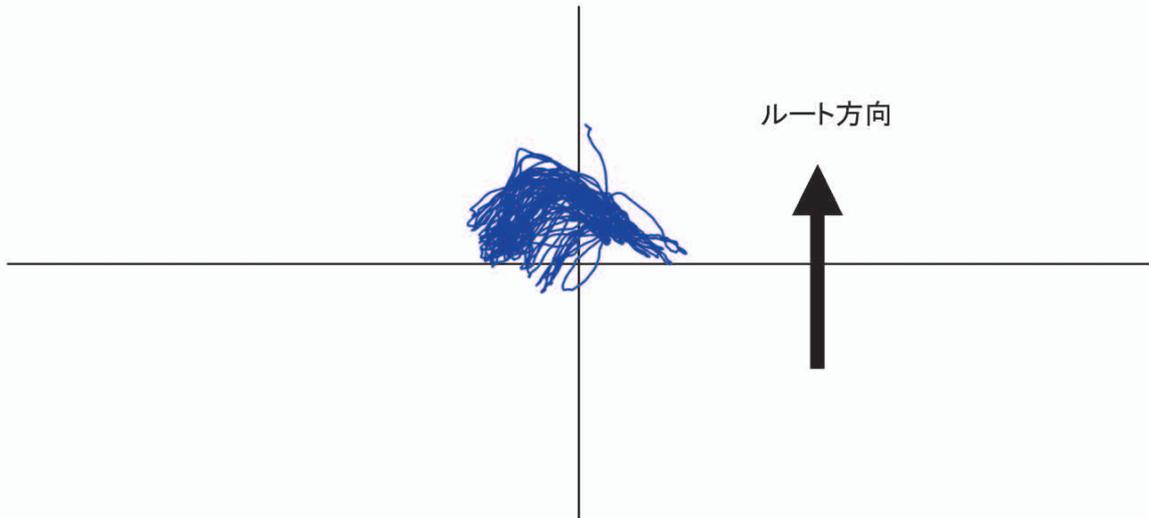


図7-6 立て向き姿勢溶接における中間層の運棒

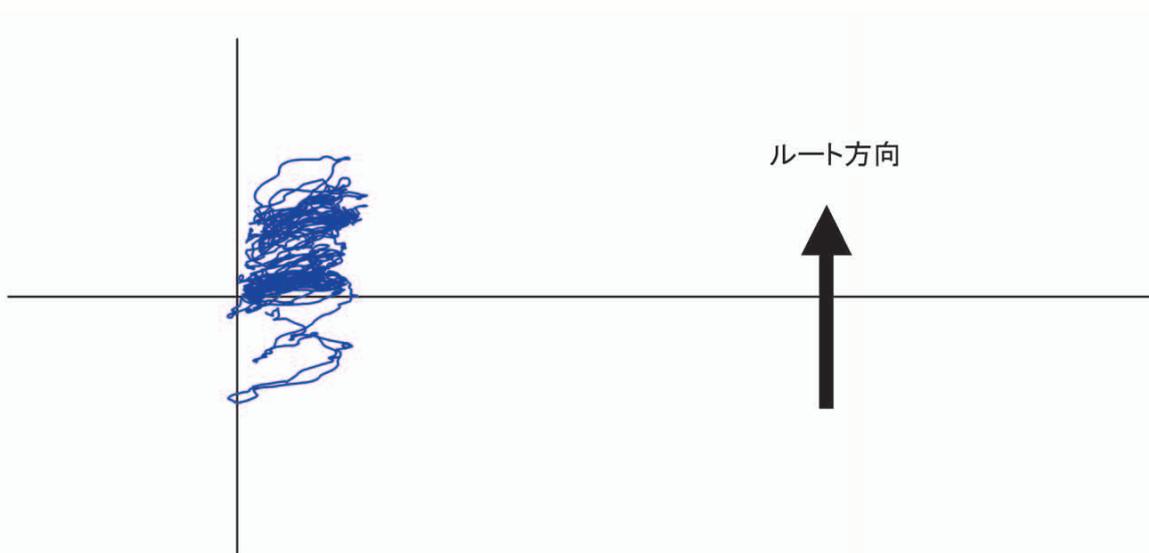
高度熟練技能者

臼庭さん_006
9t_2層目_立
2003/8/11 10:17



一般技能者

佐々木_042
9t_2層目_立
2003/8/9 9:58



(注)

1. いずれも 9 mm 板 2 層目溶接におけるトーチ移動軌跡。
2. ルート方向は上である。

図 7 - 7 立て向き姿勢溶接における中間層の上から見たトーチ移動軌跡の比較

高度熟練技能者



一般技能者



(注) いずれも9mm板溶接の写真。一般技能者は2層目まで溶接した結果の写真。

図7-8 立て向き姿勢溶接における中間層ビードの盛り方

最終直前中間層溶接の特徴

(a) 開先部分をわずかに残したビードの盛り方

最終直前中間層では、どれだけ開先を残すかがポイントとなるが、高度熟練技能者は開先部分をわずかに残したビードの盛り方をしている。ヒアリングによれば、1 mm 程度開先部分を残すように意識して、高度熟練技能者は溶接を行っているが、溶接結果を見ても、それが十分窺える。図7 - 8は、9 mm 板溶接の溶接結果であるが、高度熟練技能者は2層目溶接のビードを多少余裕をもたせて盛っていることが窺われる。なお、一般技能者も2層目溶接が済んだ時点で開先がわずかに残っており、良好なビードの盛り方をしていることが窺われる。

高度熟練技能者がこのようなビードの盛り方をしているのは、最終直前層をどこまで盛るかにより、最終層ビードの余盛りの高さが決まるからである、最終層での運棒はビード外観を整えることを目的としたゆっくりとした運棒であり、ビードの厚みを帯びやすいため、最終直前層のビードを盛りすぎると、余盛りがかなり高くなる可能性が高い。

最終層溶接の特徴

(a) 均等なピッチ幅の楕円形の運棒

最終層溶接における高度熟練技能者の作業の特徴は、最終層において均等なピッチ幅の楕円形を描く運棒を行っていることである（図7 - 9）。

この点を見るために、9 mm 板溶接の3層目溶接におけるトーチ移動軌跡を見ると、前掲図7 - 2で見たとおり、一般技能者の軌跡が左右のジグザグないし梯子状の図形となっているのに対し、高度熟練技能者の軌跡は楕円形を描く図形となっており、高度熟練技能者が楕円形を描く運棒をしていることが窺われる。

このように楕円形の運棒を行っている理由としては、最終層の運棒がビードの模様を決め、楕円形を描く運棒を行った方が、波形のビード外観を形成しやすいためである。また、ピッチ幅を均等にした方が、ビード外観が良好になる。この点は、高度熟練技能者向けヒアリングからも確認することができる。また、完成品の写真を見ても、良好な波形ビードをしていることが窺われる（前掲図7 - 8）。

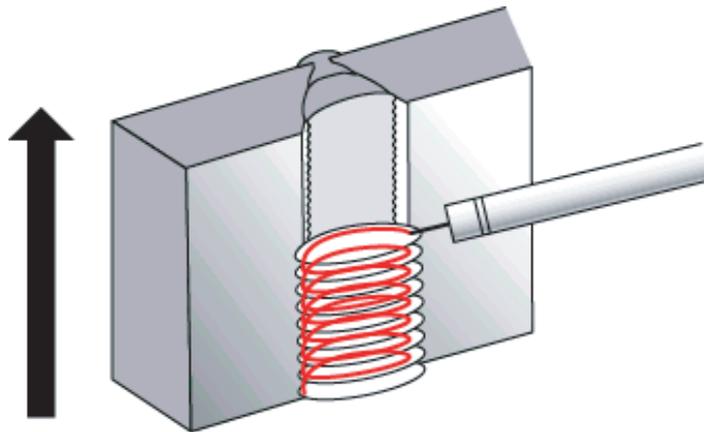


図7 - 9 立て向き姿勢溶接の最終層における高度熟練技能者の運棒

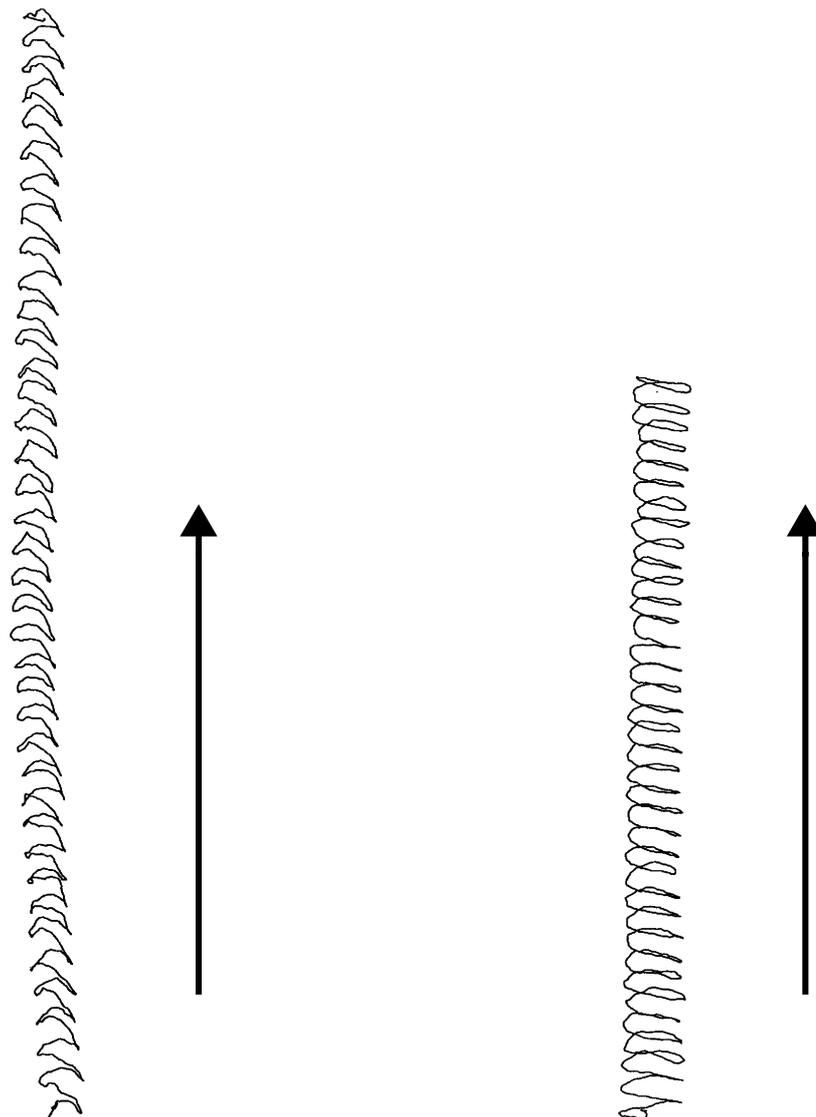
(b) 広い振り幅

最終層溶接における高度熟練技能者の作業の特徴として、振り幅を広くして運棒していることが挙げられる。9 mm 板溶接について高度熟練技能者のトーチ移動軌跡を見ると、3層目溶接の方が2層目溶接よりも振り幅が広がっている（図7 - 10）。

このように最終層において振り幅が広いのは、最終層ではビード外観を整えるため、ゆっくりと運棒をしなければならず、振り幅を広くすることで運棒速度を調整するためと考えられる。

高度熟練技能者

一般技能者



(注)

1. いずれも高度熟練技能者の9 mm 板溶接におけるトーチ移動軌跡。中間層は2層目、最終層は3層目。
2. 溶接方向は、下から上である。

図7 - 10 立て向き姿勢溶接の中間層と最終層におけるトーチ移動軌跡の比較

(c) 低い余盛り

最終層溶接における高度熟練技能者の作業の特徴として、余盛りが低く仕上がっていることが挙げられる。実際、9 mm 板溶接の完成品の写真を見ると、高度熟練技能者の余盛りが低くなっている(図7 - 11)。このように高度熟練技能者が低い余盛りの最終層仕上げを実現できているのは、
 で見たとおり、最終直前層において開先をわずかに残すようにビードを盛ったためである。

高度熟練技能者



一般技能者



(注) 9 mm 板立て向き姿勢溶接の最終溶接結果

図7 - 11 9 mm 板立て向き姿勢溶接の溶接結果の比較

板厚を変更したときの特徴

(a) 振り幅の大きな運棒

板厚が厚くなったときの高度熟練技能者の作業の特徴として、板厚の薄い板よりも運棒の振り幅が広がっていることが挙げられる。これは、板厚が薄いときは、材料平面までの距離が短いため、溶接熱が材料平面を通じて外部へ逃げにくくなるため、振り幅を広くしてゆっくりと運棒しすぎると、大きな入熱のため溶け込み過大などの影響が周辺に及び、溶接欠陥の原因になりやすいのに対し、板厚が厚い場合、材料平面までの距離が長いため、溶接熱が外部に逃げやすく、振り幅を広くゆっくりと運棒しても、入熱等の影響の範囲が限定され、溶接欠陥を引き起こしにくいことが挙げられる(図7 - 12)。

実際、高度熟練技能者におけるトーチ移動軌跡について、9 mm 板 2 層目溶接と 19 mm 板 2 層目溶接で比較すると、19 mm 板の方が振り幅が広がっており、板厚が厚くなるとともに、運棒の振り幅が広がっていることが窺われる(図7 - 13)。

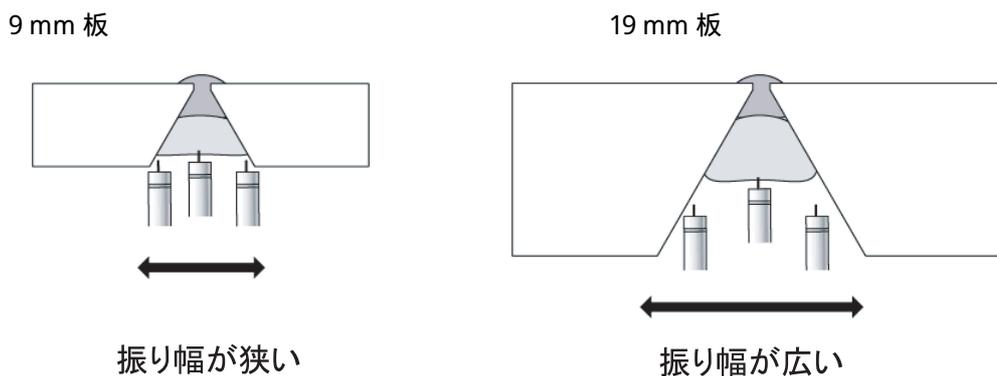
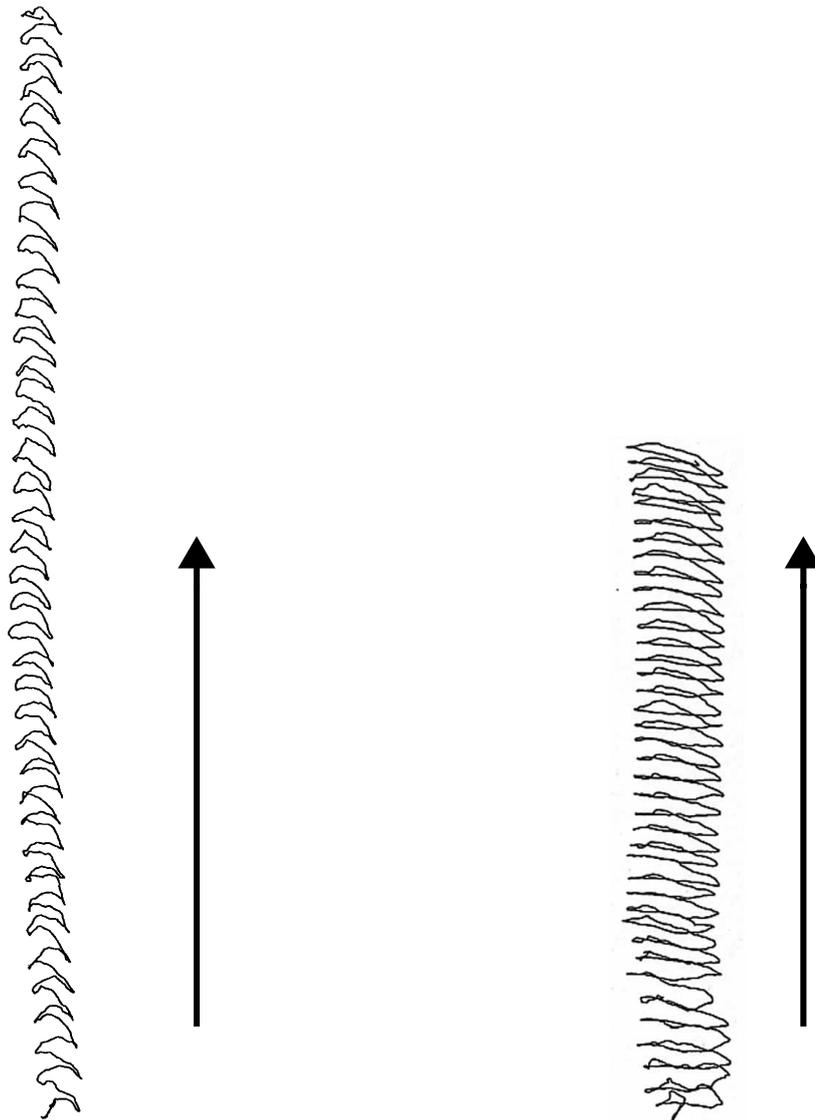


図7 - 12 立て向き姿勢溶接における板厚が厚くなったときの振り幅

9 mm 板 2 層目溶接

19 mm 板 2 層目溶接



(注)

- 1 . いずれも高度熟練技能者の 2 層目溶接におけるトーチ移動軌跡。
- 2 . 溶接方向は、下から上である。

図 7 - 13 立て向き姿勢溶接で板厚が厚くなったときのトーチ移動軌跡の比較

(b) 少ないパス数

板厚が厚くなったときの高度熟練技能者の作業の特徴として、中間層溶接におけるパス数の選択数が少ないことが挙げられる。19 mm 板溶接のとき、一般技能者は 5 層 7 パス（1 層目 1 パス、2 層目 1 パス、3 層目 1 パス、4 層目 2 パス、5 層目 2 パス）と、4 層目溶接以降を 2 パスに振り分けて実施しているのに対し、高度熟練技能者は 4 層 4 パス（全層 1 パス）で作業しており、最終層の 4 層目溶接も 1 パスで仕上げている。

このように、高度熟練技能者のパス数が少ない理由としては、高度熟練技能者は比較的速く運棒操作を行うことができるため、板厚が厚くなり振り幅が広がっても、溶接した止端部が1回のウィーピングの間に固まったり、垂れたりする可能性が少ないことが挙げられる。

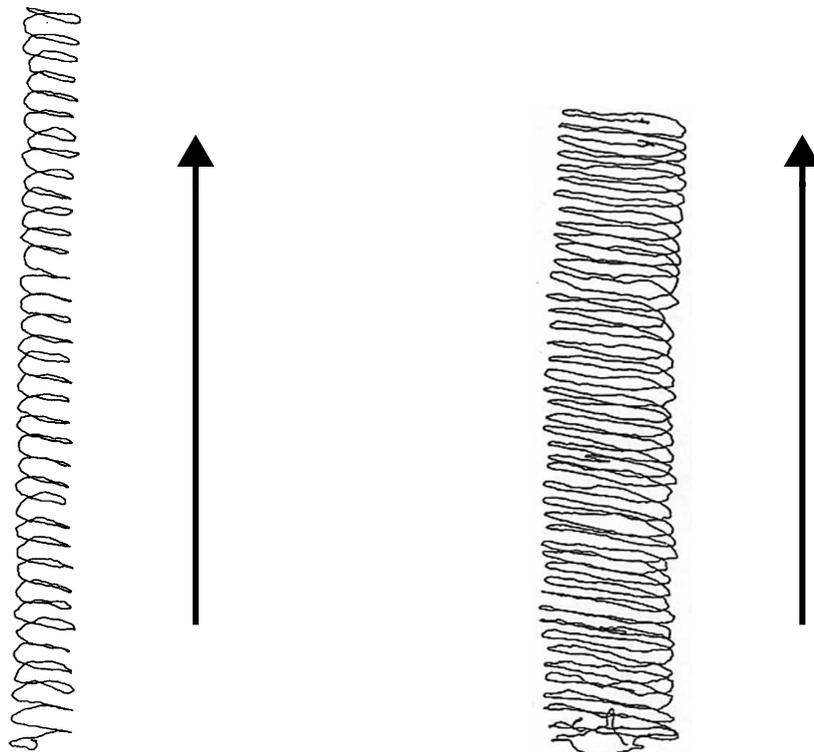
(c) 最終層溶接における細かいピッチ幅

板厚が厚くなったときの高度熟練技能者の作業の特徴として、最終層溶接におけるピッチ幅が細かくなっていることが挙げられる。実際トーチ移動軌跡により、9 mm 板 3 層目溶接と19 mm 板 4 層目溶接を比較すると、19 mm 板溶接の方がピッチ幅が細かくなっている（図7 - 14）。

これは、板厚が厚くなり振り幅が広がったとき、ピッチ幅が粗いとビードの先端が冷えて固まり、融合不良の原因になりやすいため、ピッチ幅を細かくすることで、できるだけ溶接熱が逃げないようにするためである。

9 mm 板 3 層目溶接

19 mm 板 4 層目溶接



(注) 溶接方向は下から上へである。

図7 - 14 板厚が厚くなったときの立て向き姿勢最終層溶接のピッチ幅の比較

溶接層数を変更したときの特徴

(a) デルタを描く運棒

溶接層数を変更したときの高度熟練技能者の運棒の特徴として、最終層においてデルタを描く運棒を行っていることが挙げられる。3層仕上げの9mm板の2層目溶接は、 \leftarrow ルート方向 \rightarrow ルート方向 \leftarrowを繰り返す逆V字の運棒で溶接されているが、2層仕上げの9mm板の2層目溶接は左 \rightarrow ルート方向 \leftarrow 右 \rightarrow ルート方向 \leftarrowを繰り返すデルタを描く運棒となっている(図7-15)。

実際、両者の高度熟練技能者のトーチ移動軌跡を見ると、3層仕上げの9mm板2層目溶接は、逆V字を描く図形となっているのに対し、2層仕上げの9mm板2層目溶接は三角形に近い楕円形を描く図形となっており、上記の運棒パターンを裏付けている(図7-16)。

また、通常の最終層の運棒と比較しても運棒パターンが異なる。通常の最終層は楕円形を描く運棒を行っているのに対し、溶接層数を削減したときの最終層の運棒はデルタである(図7-17)。

この点はトーチ移動軌跡でも確認できる。9mm板3層仕上げの3層目溶接と9mm板2層仕上げの2層目溶接のトーチ移動軌跡を比較すると、前者は楕円形が重なった形状となっているのに対し、後者は三角形が重なった形状となっている(図7-18)。

このように2層仕上げにしたとき、デルタの運棒を描くのは、2層仕上げの2層目溶接では、前層ビードと両止端部を溶かし、平らに仕上げるといった中間層の運棒操作と、ビード外観を整えるという最終層の運棒操作の双方が求められ、両者の条件を満たす運棒がデルタ運棒であるためと考えられる。

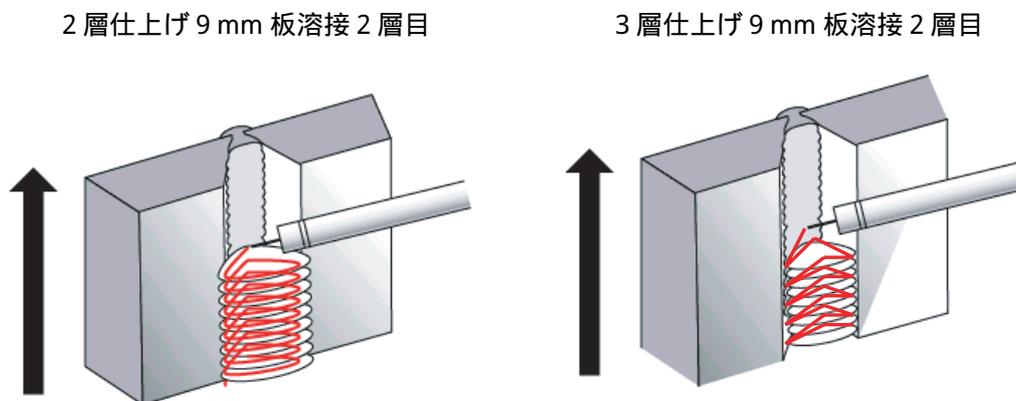
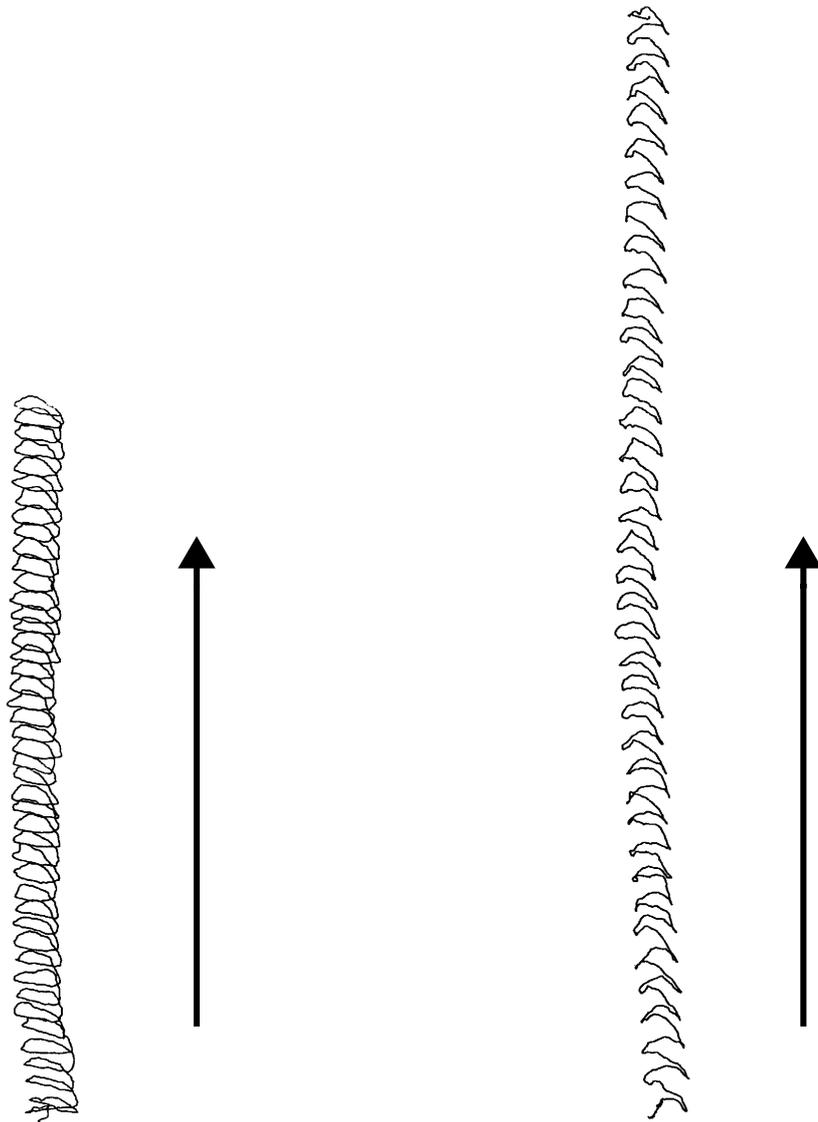


図7-15 立て向き姿勢溶接における溶接層数を削減したときの運棒操作(2層目溶接)

2層仕上げ2層目溶接

3層仕上げ2層目溶接

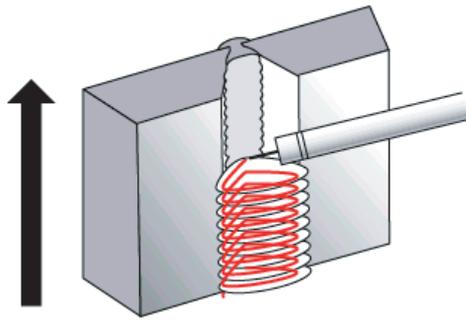


(注)

1. いずれも高度熟練技能者の2層目溶接におけるトーチ移動軌跡。
2. 溶接方向は、下から上である。

図7 - 16 立て向き姿勢溶接における9 mm板2層仕上げと3層仕上げの比較

2層仕上げ9mm板溶接2層目



3層仕上げ9mm板溶接3層目

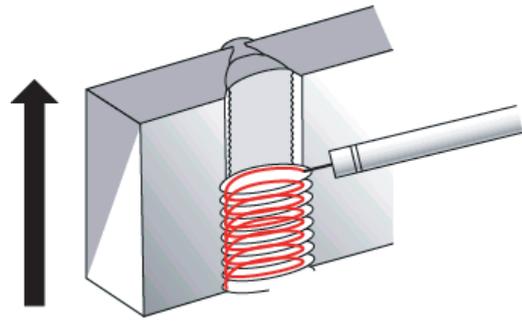


図7-17 立て向き姿勢溶接における溶接層数を削減したときの運棒操作(最終層)

2層仕上げ2層目溶接



3層仕上げ3層目溶接



(注)

1. いずれも高度熟練技能者におけるトーチ移動軌跡。
2. 溶接方向は、下から上である。

図7-18 立て向き姿勢溶接における9mm板2層仕上げと3層仕上げの比較(2)

(b) 19 mm 板 2 層目溶接と似た運棒パターンを描く最終層

溶接層数を削減したときの高度熟練技能者の作業の特徴として、板厚が厚い板の中間層溶接と運棒パターンが似ていることが挙げられる。9 mm 板 2 層仕上げの 2 層目溶接の運棒パターンは、19 mm 板 2 層目溶接の運棒パターンと似ており、いずれもデルタを描く運棒となっている（図 7 - 19）。実際、両者の高度熟練技能者におけるトーチ移動軌跡を比較すると、いずれも三角形を重ねた形状となっており、運棒パターンが似通っている（図 7 - 20）。

ただし、止端部における運棒の方法が異なる。9 mm 板 2 層仕上げ 2 層目溶接では、止端部でもその他の部分と同様の速度で運棒しているのに対し、19 mm 板 2 層目溶接では、止端部を他の部分よりも運棒速度を緩めて運棒している。

このように 9 mm 板 2 層仕上げの 2 層目溶接の運棒が 19 mm 板溶接と似た運棒パターンとなったのは、前者は(a)で述べた理由によりデルタ運棒となり、後者は開先深さが深いため、他の板厚の 2 層目溶接のように、逆 V 字を描く運棒を行いにくく、デルタの運棒になっていることが考えられる。また、両者で止端部における運棒速度に差が生じた理由としては、9 mm 板 2 層仕上げ 2 層目溶接では、止端部と板表面までの距離が短いため、止端部が溶けやすいのに対し、19 mm 板 2 層目溶接では止端部と板表面までの距離が長く、止端部が溶けにくいいため、ここでの溶接欠陥をなくすことに集中した運棒をする必要があることが挙げられる。

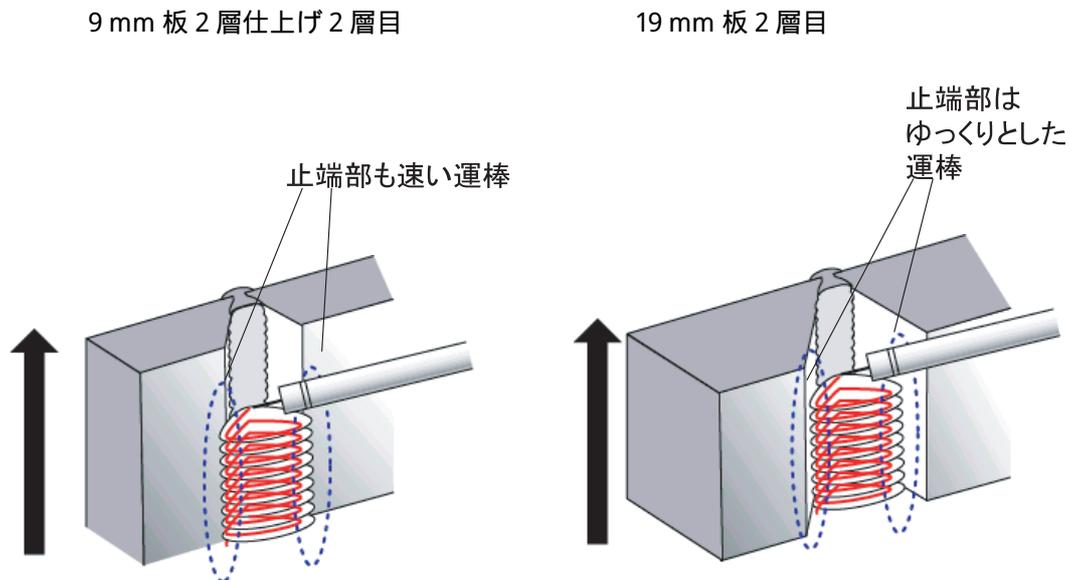
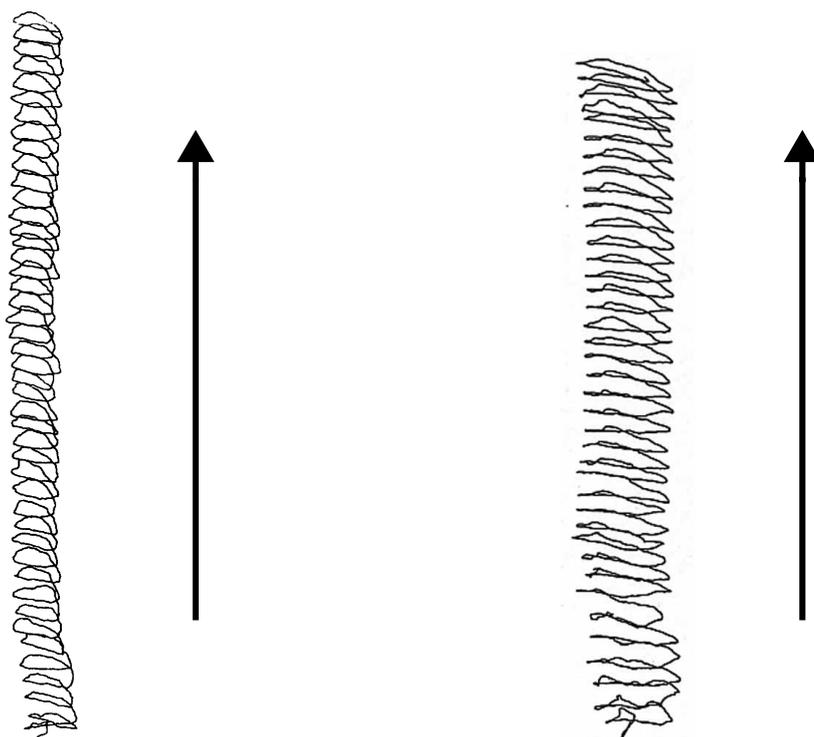


図 7 - 19 立て向き姿勢溶接における 9 mm 板 2 層仕上げ 2 層目溶接と 19 mm 板 2 層目溶接

9 mm 板 2 層仕上げ 2 層目溶接

19 mm 板 2 層目溶接



(注)

1. いずれも高度熟練技能者の 2 層目溶接におけるトーチ移動軌跡。
2. 溶接方向は、下から上である。

図 7 - 20 立て向き姿勢溶接における 9 mm 板 2 層仕上げと 19 mm 板の比較

(c) 良好な溶接結果

溶接層数を削減したときの高度熟練技能者の作業の特徴として、溶接結果が良好になっていることが挙げられる。

まず溶接結果を見ると、9 mm 板 2 層仕上げの溶接結果は、ビードはまっすぐに仕上がり、ピッチ間隔は概ね均等となっている。また余盛りの高さも低い。余盛りについて、9 mm 板 3 層仕上げ溶接と比較すると、2 層仕上げの方が低く仕上がっている (図 7 - 21)。

さらにマクロ試験結果を見ると、9 mm 板の 2 層仕上げの結果は、溶け込み深さが 9 mm 板 3 層仕上げよりも深く、溶け込み量が多くなっている。なお、裏ビードについても余盛りの高さが低い高さに仕上がっており、ビード外観も良好となっている (図 7 - 22)。

なお、一般技能者の 9 mm 板 2 層仕上げの溶接結果を見ると、2 層仕上げ溶接の経験がないにもかかわらず、ビードがまっすぐに仕上がり、余盛りの高さも十分低いビード外観となっている (図 7 - 23)。

以上を考慮すると、9 mm 板の立て向き姿勢溶接では、3 層仕上げよりも 2 層仕

上げの方が優れた溶接結果が得やすくなっており、より適切な方法と判断される。

このように2層仕上げの方が良好な溶接結果となっている理由としては、3層仕上げの3層目溶接では最終層を盛ることの方に重点をおいた溶接が行われるのに対し、2層仕上げの2層目溶接では1層目のビードを十分に溶かすことも意識して溶接が行われるため、溶け込み深さが深くなりやすいことが挙げられる。

9 mm 板 2層仕上げ



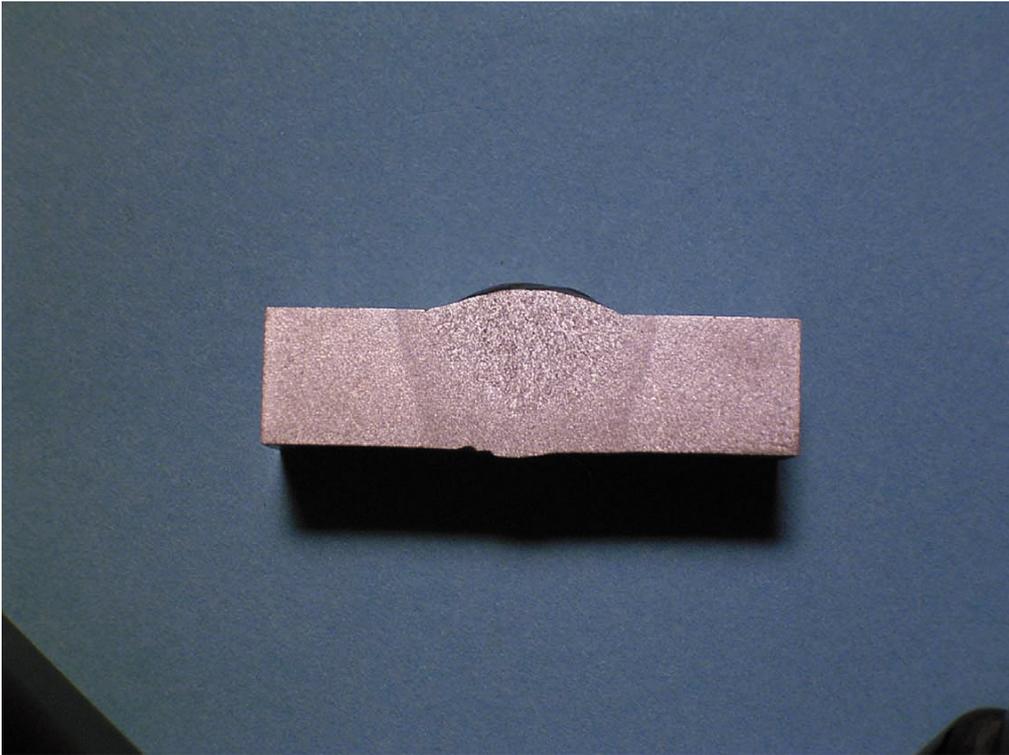
9 mm 板 3層仕上げ



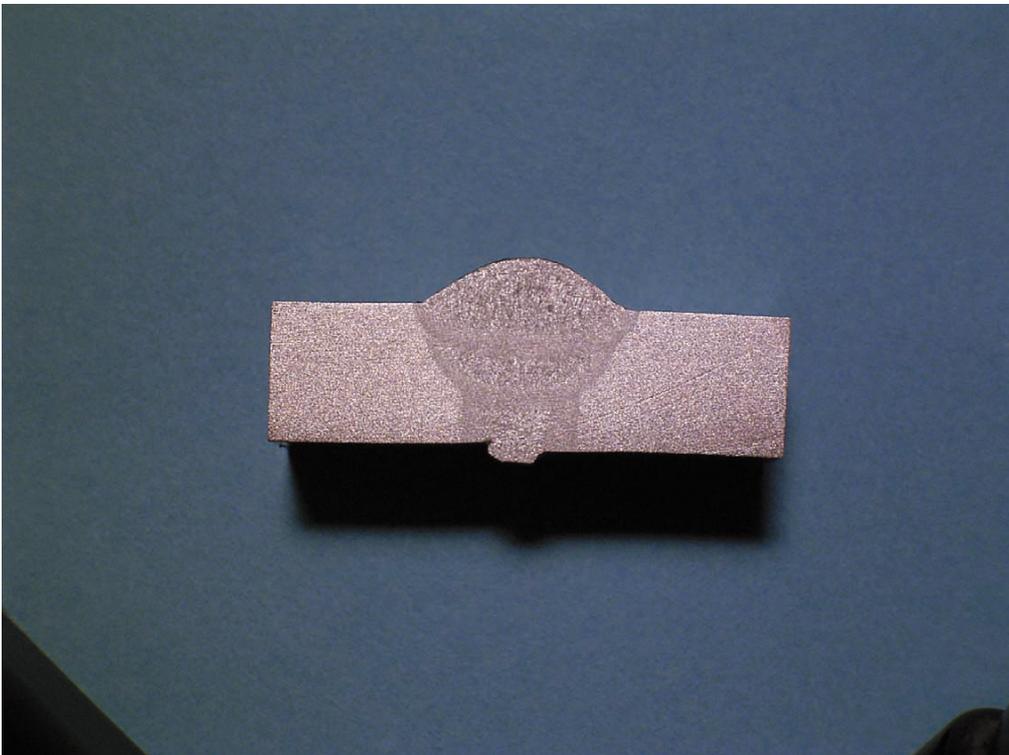
(注) 高度熟練技能者の9 mm 板溶接の完成品の写真

図7 - 21 立て向き姿勢溶接における9 mm 板2層仕上げと3層仕上げの結果比較

9 mm 板 2 層仕上げ



9 mm 板 3 層仕上げ



(注) いずれも高度熟練技能者の 9 mm 板溶接の完成品をマクロ試験にかけた結果の写真

図 7 - 22 立て向き姿勢溶接におけるマクロ試験結果の比較



(注) 一般技能者の9 mm 板2層仕上げ溶接の完成品の写真

図7 - 23 立て向き姿勢溶接における9 mm 板2層仕上げ溶接の溶接結果 (一般技能者)

(2) 高度熟練技能者のカンとコツ

通常の溶接条件の下でのカンとコツ

通常の溶接条件の下での、板の溶接に関わるカンとコツを整理すると、表 7 - 24 のとおりである。

(a) 作業姿勢

作業姿勢でのポイントは、適正なトーチ角度を長い時間維持できるようにすること、溶融池の状況、母材ノズル間距離の保持、ビード形状を常に確認することである。

高度熟練技能者は、トーチ角度の保持のため、できるだけリラックスした姿勢をとるようにしている。また、同じ姿勢を長時間とれるように、最初腕を伸ばした窮屈な姿勢から作業を開始し、徐々に姿勢を楽にしている。

(b) トーチの構え方

トーチの構え方でのポイントは、ガスシールド効果を保持し、ブローホールなどの溶接欠陥を招かないようにすることである。

このため、高度熟練技能者は母材ノズル間距離が安定するように、トーチを構えている。また、教科書などでは立て向き姿勢溶接においてトーチを上向きに構えるとされているが、高度熟練技能者はトーチをやや下向きに傾け、ガスシールド効果が十分現れるよう工夫している。

(c) 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、溶融池の状態（表面にぶれが生じるか生じないかの状態）やアーク音などにより、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。

(d) 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、後の層が良好に盛れるように平らにすることである。

これを行うため、高度熟練技能者は、ルート方向へ逆 V 字を描く運棒を行い、前層ビードの真中をへこませること等を実践している。

表7 - 24 通常の板の立て向き姿勢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
作業姿勢	適正なトーチ角度を長い時間保持できるような姿勢を維持する。	できるだけリラックスした姿勢をとる。 最初腕を伸ばした窮屈な状態からスタートし、徐々に姿勢を楽にする。
トーチの構え方	ガスシールド効果を保持する。	母材ノズル間距離を安定させる。 トーチをやや下向きに構える。
初層溶接	適切な裏波を出す。	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	融合不良をなくす。 後の層が良好に載るようにする。	ルート方向に逆V字を描く運棒を行い、前層ビードの真中をへこませる。
最終層直前の中間層溶接	最終層の余盛りが適切な高さになるように、開先をわずかに残す。	母材面よりわずかに低くなるように仕上げる。
最終層溶接	ビード外観を良好にする。	均等なピッチ幅の楕円形を描く運棒を行う。 振り幅の広い運棒を行う。 余盛りを十分低い高さに収める。

(e) **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、最終層の余盛りが適切な高さになるように、開先をわずかに残すことである。

これを行うため、高度熟練技能者は、母材面よりわずかに低くなるように仕上げることで、等を実施している。

(f) **最終層溶接**

最終層溶接のポイントは、ビード外観を良好にすることである。

ビード外観を良好にするため、高度熟練技能者は均等なピッチ幅の楕円形を描く運棒を行い、かつ振り幅も広くし、余盛りも十分低い高さに収まるようにしている。

特殊な溶接条件の下での対応方法

板の溶接において、板厚や溶接層数などの溶接条件が変わったとき、これに伴う対応方法は、表7 - 25のとおりである。

表7 - 25 板の立て向き姿勢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。	振り幅の広い運棒を行う。
溶接層数を削減したとき	最終層溶接では、前層ビードと両止端部を溶かすことと、ビード外観を整えることの双方が求められる。	デルタを描く運棒を行う。 両止端部で運棒速度を落とさない。

(a) 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ため、溶接熱が材料表面から外部に逃げやすくなる。このため、高度熟練技能者は、振り幅を広くした運棒を行い、両止端部をじっくりと溶かし、融合不良などの溶接欠陥が生じないようにしている。

なお、高度熟練技能者は全ての板厚の溶接を各層1パス溶接で行ったが、これは高度熟練技能者の技能の高さから可能となっているのであり、溶接経験の浅い作業者は、必要に応じて適切なパス数に振り分けて溶接を行うべきである。

(b) 溶接層数を削減したとき

溶接層数を削減したとき、最終層では前層ビードと両止端部を溶かすという中間層の運棒と、ビード外観を整えるという最終層の運棒の双方が求められる。

このため、高度熟練技能者は、デルタを描く運棒を行う一方、両止端部での運棒速度はあまり緩めず開先面からの溶接熱の分散を防ぐことで対応している。

なお、溶接層数を削減したときの方が、最終層溶接における前層への溶け込みが促進されるため、溶け込み深さや余盛りの高さという面で、良好な溶接結果が得られている。

管の立て向き姿勢溶接への適用

第4章で述べたとおり、管の立て向き姿勢溶接は、身体の姿勢の変化を伴う以外は、板の立て向き溶接姿勢と、ポイントは や で記したとおりである。これらのポイントを検討すると、下記の3点が基本となっていると推察される。

(a) 視野の確保

溶融池の状態の観察、母材ノズル間距離の状況確認、微調整の運棒操作、最終直前層における開先の残し幅等は、作業者が溶融池、ノズルの位置、ビードの状況を直接目で確認して初めて実現可能である。このため、作業者が溶接部分をつぶさに観察するため、視野を確保することが重要である。

(b) 姿勢の保持

母材ノズル間距離の保持、(a)で述べた視野の確保などを実現するためには、できるだけ長い時間同じ姿勢で作業を続けることが前提となる。高度熟練技能者のとるリラックスした姿勢での作業や、窮屈な姿勢からの作業開始は1つの参考になる。

(c) 自分に合った溶接方法の確立

今回高度熟練技能者が見せた、独特の作業姿勢、やや下向きのトーチ角度、中間層溶接における逆V字の運棒等は、教科書などでは教えられる溶接方法と異なるものである。これらは、高度熟練技能者が、長年の溶接経験から、自分なりに溶接を行いやすい溶接方法として採用したものである。このことがベースになって、管の立て向き姿勢溶接も良好な溶接結果を常に出せるようになっている。このため、優れた溶接結果が得られる溶接方法を習得するためには、自分に合った溶接方法を早期に確立することが重要である。

なお、高度熟練技能者のヒアリングにもあるとおり、この溶接方法を確立するために、はじめから自己流の溶接方法で作業しても溶接技能は上達できない。というのは、自己流の方法は、実務経験を踏まえたものではなく、失敗する確率が高いからである。むしろ高度熟練技能者が薦めるとおり、自分より溶接経験の長い作業者の溶接作業をじっくりと観察し、その優れた溶接作業方法を発見し、盗み出す方が、溶接実務の裏づけがあるという点で、効果的と考えられる。

2. 第2課題：鉛直固定管に応用可能な板の炭酸ガス半自動横向き溶接作業

1. と同様、下記の視点から横向き姿勢溶接について、高度熟練技能者の作業内容を分析し、特徴を抽出する。なお、ここで抽出された特徴は、今回作業協力をしていただいた高度熟練技能者の特徴であって、高度熟練技能者一般の特徴ではない。

(分析の視点)

溶接姿勢の面における高度熟練技能者の特徴は何か。

トーチの構え方の面における高度熟練技能者の特徴は何か。

各層溶接の運棒操作の面における高度熟練技能者の特徴は何か。

板厚条件を変更したときの対処法における高度熟練技能者の特徴は何か。

前進法溶接 / 後退法溶接を変更したときの対処法における高度熟練技能者の特徴は何か。

(1) 高度熟練技能者の作業の特徴

溶接姿勢の特徴

(a) リラックスした姿勢の保持

高度熟練技能者の溶接姿勢の特徴としては、両肘を足の上におき、リラックスした状態を保ちながら、溶接作業を行っていることが挙げられる。一般技能者の溶接姿勢を見ると、手ぶれを避けるため左肘を身体に付けた状態で作業をしており、やや窮屈な姿勢であることが窺われる(図7-26)。

このように高度熟練技能者がリラックスした姿勢を保持しているのは、高度熟練技能者向けヒアリングにあったとおり、そうすることでトーチ角度の保持、母材ノズル間距離の安定等を長時間にわたって維持することができるからである。

(b) 視線の確保

高度熟練技能者の作業姿勢のもう1つの特徴は、頭を適宜動かすことで、溶接部分が見えるように視線を確保していることである。作業姿勢の制約が小さい、管の横向き姿勢における高度熟練技能者の作業姿勢を見ると、前進法溶接のとき、最初頭を右に傾け作業を行い、身体とともに徐々に頭を上げ、最後には頭を左に傾けている(図7-27)。

高度熟練技能者がこのような頭の傾きを示しているのは、撮影機材の影響もある。しかしながら、こうすることで、溶接部分がより見やすくなり、溶融池の状態、母材ノズル間距離の状況、ビードの形状等を目で確認しながら作業することができる。

高度熟練技能者



一般技能者

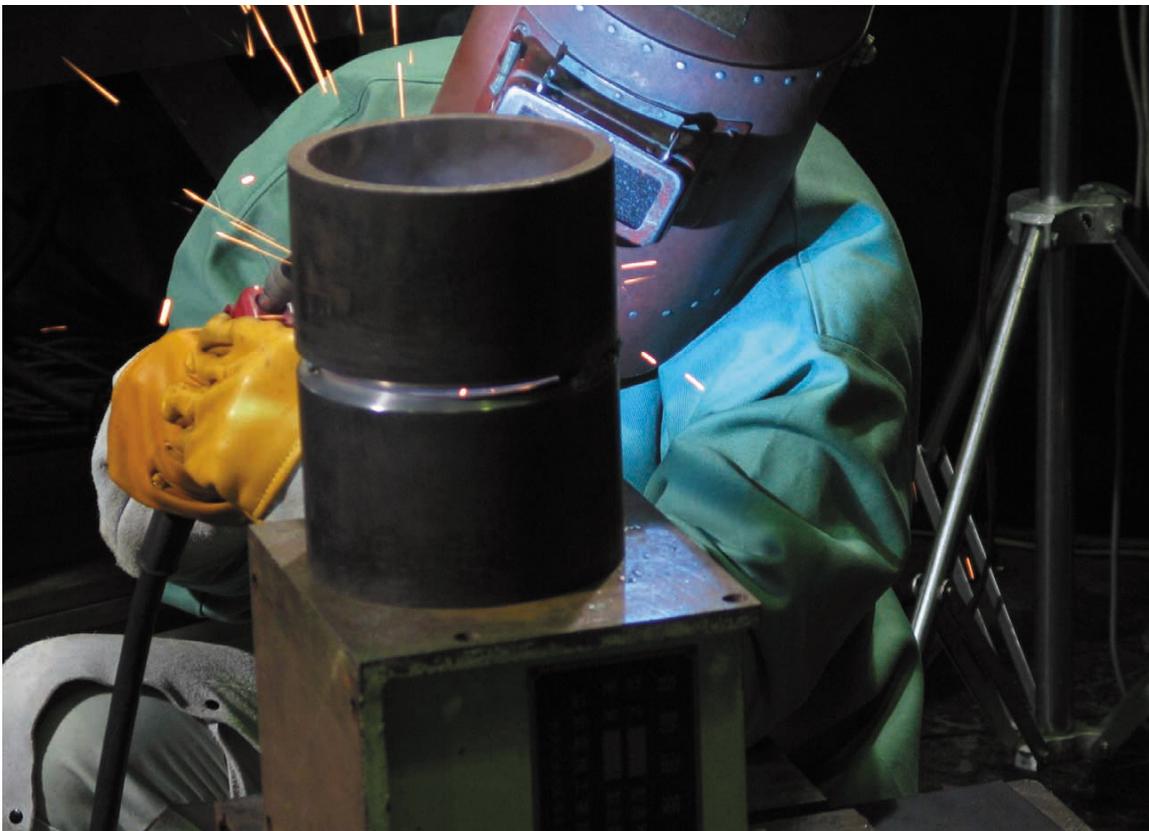


図7 - 26 横向き姿勢溶接における高度熟練技能者と一般技能者の溶接姿勢の比較

作業前半



作業後半



(注) 管の横向き姿勢前進法溶接の写真

図 7 - 27 横向き姿勢溶接における高度熟練技能者の頭の向き

トーチの構え方の特徴

(a) 母材ノズル間距離の安定

高度熟練技能者のトーチの構え方を見ると、母材ノズル間距離が安定していることが特徴として挙げられる。

まずヒアリング調査結果を見ると、高度熟練技能者が母材ノズル間距離の保持を強く意識していたのに対し、一般技能者はその点に対する意識は少なかった。

また、トーチ移動軌跡のデータからもこの検証は可能である。正確に母材ノズル間距離を測定することは難しいが、横向き姿勢溶接の場合、z座標の数値が母材ノズル間距離と平行な関係にあるため、このz値の安定性を検証すれば十分である。検証方法としてはデータのばらつきを表す標準偏差を計算すればいいが、原点や各座標軸の取り方が、各板厚各層各パスについて必ずしも一定ではないため、こうした影響を除くため、標準偏差を平均値で除した変動係数を比較する。

まず、9 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(y-z平面へのトーチ移動軌跡の正射影)を見ると、高度熟練技能者は左下がりが、一般技能者は左上がりのトレンドを描いているが、高度熟練技能者の方が上下の変動が小さいことが窺われる(図7-28)。

次に、9 mm板の前進法の横向き姿勢溶接について、高度熟練技能者と一般技能者におけるz値の変動係数を比較すると、表7-29のとおりである。これを見ると、概ね高度熟練技能者の方が一般技能者よりもz値の変動係数が小さく、母材ノズル間距離が安定していたことが窺われる。

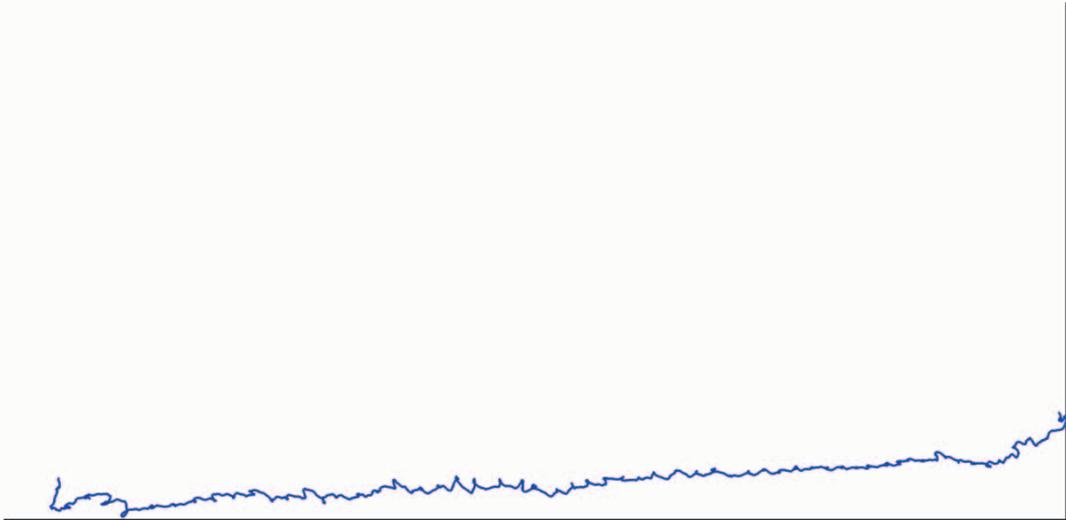
このように、母材ノズル間距離の安定に気を配るのは、ガスシールド効果に影響が生じるためである。母材ノズル間距離が離れすぎると、ノズルと母材の間からガスが外へ逃げやすくなるため、溶接中に空気が溶接雰囲気中に侵入し、ブローホールやピットなどができやすくなる²¹。

なお、一般技能者の変動係数が非常に大きい値を示し、z値のぶれが大きくなっている理由として、技能の差もあるが、溶接技能解析システムと装着した状態で、かつ溶接部分のアップ映像が撮影できるように、窮屈な姿勢を一般技能者に強いたことの影響がある点が挙げられることに注意しなければならない。

²¹ なお、母材ノズル間距離を近づけすぎると、トーチを動かしにくくなり、運棒の操作性に悪影響が及ぶ。

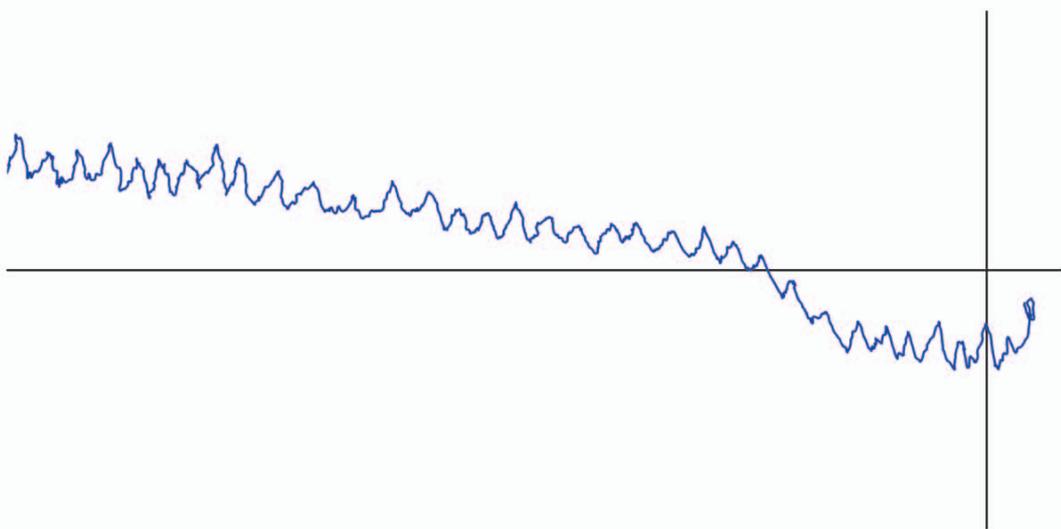
高度熟練技能者

臼庭さん_023
9t_2層目_押し_1
2003/8/11 15:26



一般技能者

佐々木_003
2層目_押し_横_1
2003/8/8 11:50



(注)

1. いずれも9 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。
2. 溶接方向は、右から左である。
3. 縦軸はz値、横軸はy値である。
4. 比較を容易にするように、各軸ともメモリの間隔を揃えている。

図7 - 28 横向き姿勢溶接におけるルート方向のトーチ移動軌跡

表7 - 29 横向き姿勢溶接における母材ノズル間距離の安定状況

	1層目	2層目		3層目		
		1パス目	2パス目	1パス目	2パス目	3パス目
高度熟練技能者	0.343	0.480	0.987	0.684	0.274	
一般技能者	9.198	1.837	0.466	2.228	7.559	0.248

(注)

1. ルート方向の座標値(z値)の変動係数(標準偏差/平均値)の絶対値。座標軸のとり方により、マイナスの値になることがあるため、誤解を避けるため絶対値表記とした。
2. 9mm板前進法横向き姿勢溶接の数値。
3. 高度熟練技能者は3層目を2パス仕上げで溶接したのに対し、一般技能者は3パス仕上げで溶接した。

初層溶接の特徴

(a) 溶融池の揺れによる裏波の判断

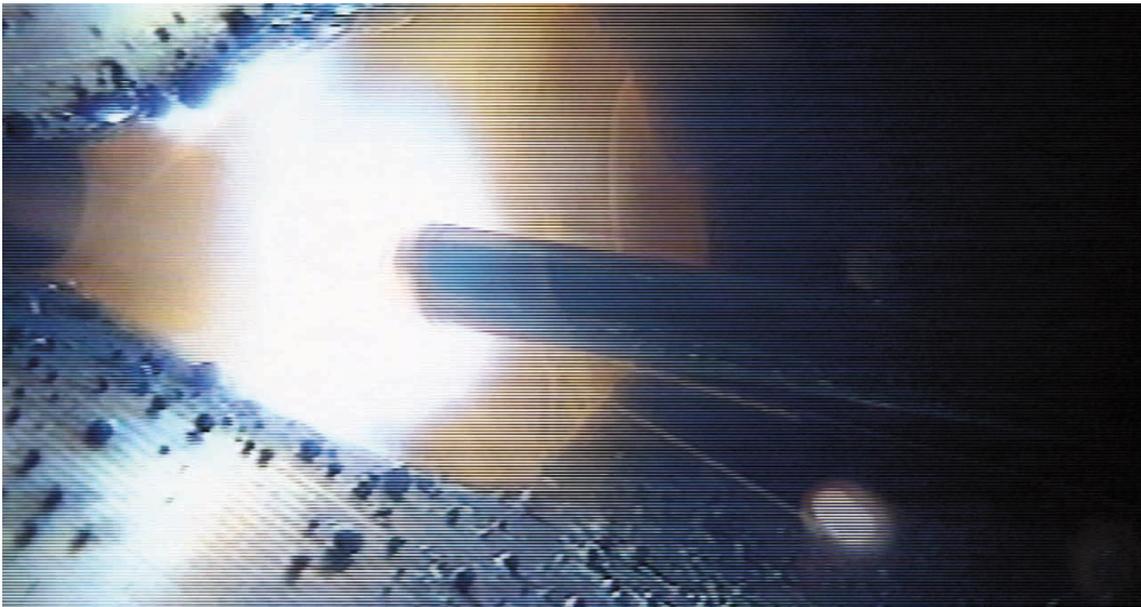
初層溶接における高度熟練技能者の特徴としては、溶融池表面の金属の揺れにより裏波の状況を判断していることが挙げられる。初層溶接では、裏波を出すことに重点がおかれた運棒が求められるが、どのように裏波の状況を判断するかがポイントとなる。

ヒアリングによれば、高度熟練技能者は溶融池表面の金属が少し揺れていれば、適正な裏波が出ている状態であると判断している。これに対し、一般技能者は溶融池の先端が少し欠けていれば、裏波が適性であると判断している。

実際、9mm板前進法溶接における1層目溶接の溶融池の状況を比較すると、高度熟練技能者の溶融池は進行方向と逆側にある表面金属が揺れた状態を示しているのに対し、一般技能者の溶融池は進行方向側の先端が三日月状に欠けた形状を示している(図7-30)。

なお、このように高度熟練技能者と一般技能者の作る溶融池の形状は異なるものの、高度熟練技能者の方法が正しいというわけではないことに注意すべきである。溶融池の揺れで裏波を判断する高度熟練技能者のやり方は、非常に判断基準が曖昧かつ微妙であり、アークを当てすぎて板が抜けたり、アークの当て方が不十分で、裏波が出なかったりするリスクに直面する。むしろ、溶融池の先端形状に着目する一般技能者のやり方の方が、裏波が出ているかどうかの判断を明確に行いやすく、好ましい方法とも考えられる。重要なことは、いずれの方法が正しいかということではなく、裏波の判断方法として、学校等で教えられる一般技能者の方法のほかに、高度熟練技能者のとった方法もあり、どのやり方をとるかは、個々の作業者がやりやすい方法とすべきということである。

高度熟練技能者



一般技能者



(注) いずれも 9 mm 板前進法 1 層目溶接における溶融池の写真。

図 7 - 30 横向き姿勢溶接における溶融池の形状の比較

(b) 狭い振り幅

初層溶接における振り幅が狭いことも、高度熟練技能者の作業の特徴である。この点を見るために、9 mm 板前進法 1 層目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、一般技能者に比べ高度熟練技能者における振り幅は狭く、ほとんどストレートに近い運棒となっている(図7-31)。この点は、高度熟練技能者のヒアリングでも、ストレートに近い運棒を初層で行う旨のコメントが得られており、あまりウィーピングしないで運棒を行っていたことが窺われる。

このように、初層溶接で高度熟練技能者がストレートに近い運棒操作を示した理由としては、初層溶接のポイントが裏波を出すことにあり、あまり運棒をゆっくりと行いすぎると、アークが裏に抜けてしまうリスクがあることが挙げられる。溶接技能の経験が浅いうちは、トーチ操作に慎重になり、運棒速度が遅くなる傾向があるが、高度熟練技能者のこうした初層溶接の方法は、そのような傾向が新たな溶接欠陥をもたらす可能性があることに警鐘を鳴らすものであり、1つの初層溶接法として参考になる点と考えられる。

高度熟練技能者



一般技能者



(注)

- 1．いずれも 9 mm 板前進法 1 層目溶接におけるトーチ移動軌跡。
- 2．溶接方向は、右から左である。

図7-31 横向き姿勢溶接の初層溶接における振り幅の比較

中間層溶接の特徴

(a) 棚の形成：1パス目

中間層溶接における高度熟練技能者の作業の特徴として、1パス目溶接において棚を作っていることである。通常ビードを盛る場合、でき上がるビードはやや丸みを帯びた形状になりやすい。1パス目のビードをこのような形状で盛ると、2パス目のビードを重ねたとき、重なり部分で融合不良が生じやすくなる。1パス目のビードを棚にすれば、2パス目のビードが良好に重なり、平らな中間層ビードを実現できる（図7 - 32）。

この点は、溶接結果の写真からも確認することができる。図7 - 33は、9 mm 板前進法溶接で2層目まで溶接した結果を横から撮影した写真である。各層各パス溶接の長さを変えて溶接作業を行ったため、一番上の層の溶接結果だけではなく、中間段階の溶接結果も把握することが可能である。これを見ると、2層目1パス目のビードが一般技能者ではやや丸みを帯びているのに対し、高度熟練技能者は丸みが少なくなっており、棚の形成が行われていることが窺われる。

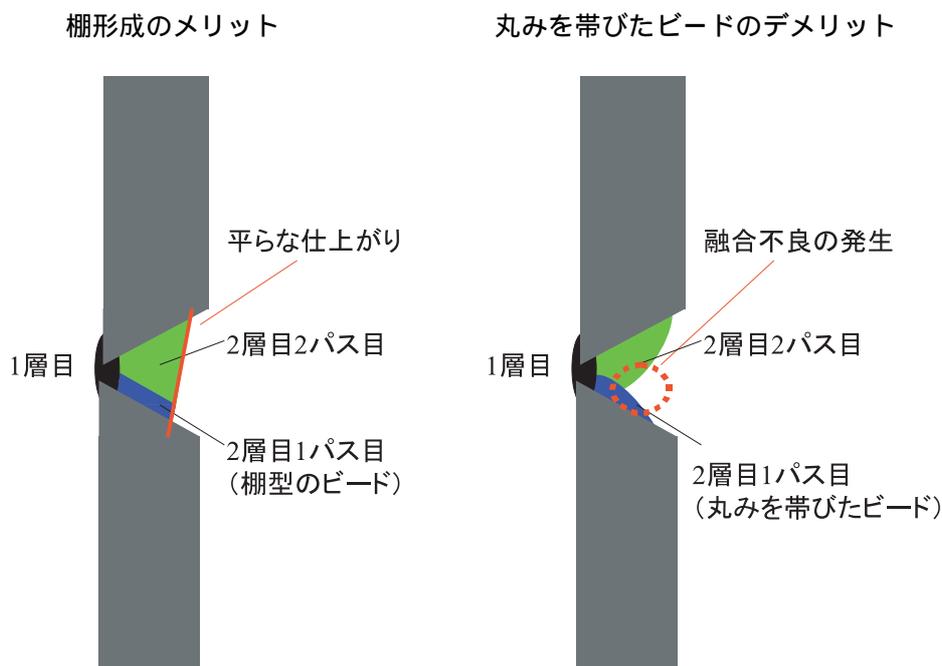


図7 - 32 横向き姿勢溶接における棚の形成

高度熟練技能者



一般技能者



(注) いずれも 9 mm 板前進法溶接で、2 層目まで溶接した溶接結果の写真。

図 7 - 33 横向き姿勢溶接の 2 層目 1 パス目の溶接結果の比較

(b) 進行方向とは反対側に傾いたウィーピング

中間層溶接における高度熟練技能者の運棒の特徴として、進行方向とは反対側に傾いたウィーピングを描いていることである。例えば、前進法溶接の場合、右上 左下 右上 左下.....を繰り返し、下から上へ運棒するとき、進行方向に対して戻し気味にすることを意識した運棒となっている。通常2層目1パス目溶接では、単純にウィーピングを行い、右上 左下 左上 左下と上下対象の運棒を行うが、高度熟練技能者は独特の運棒を行っている(図7-34)。この点について、トーチ移動軌跡データにより検証すると、高度熟練技能者の2層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡は、上述した進行方向とは反対側に細かく傾いたウィーピングとなっているのに対し、一般技能者のトーチ移動軌跡は通常のウィーピングとなっていることが窺われる(図7-35)。

高度熟練技能者が、このような運棒を行う理由としては、(a)で述べた棚を作るためである。高度熟練技能者のヒアリングによれば、棚を作るためには、低めの電流値の下、戻し加減の運棒を行うことが効果的とされている。この方法が唯一絶対の方法というわけではないが、中間層における融合不良を回避する方法として参考になるとと思われる。

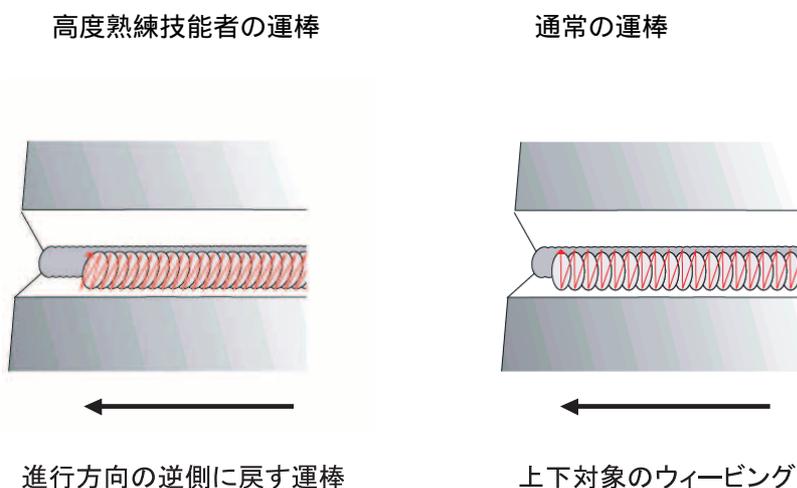
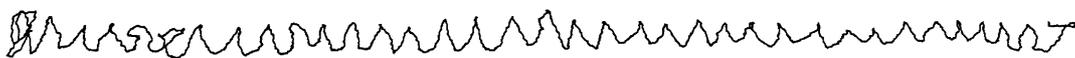


図7-34 横向き姿勢溶接における中間層1パス目の運棒

高度熟練技能者



一般技能者



(注)

- 1．いずれも12 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。
- 2．溶接方向は、右から左である。

図7 - 35 横向き姿勢溶接における中間層1パス目溶接の比較

(c) 振り幅が広い運棒：2パス目

高度熟練技能者は、2パス目溶接において、振り幅が広い楕円形を描く運棒を行い、1パス目より厚いビードを盛ろうとしている(図7 - 36)。これは、中間層溶接では融合不良のないよう平らに盛ることがポイントとなっているため、2パス目溶接で前層ビードや止端部の溶け残しや溶け込み不足がないように、ゆっくりと慎重に作業を行わなければならない、結果としてビードが1パス目より厚くなるからである。この点は、高度熟練技能者のヒアリングでも表明されており、高度熟練技能者が意識的に実施していることが窺われる。

実際、高度熟練技能者の2層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡と2層目2パス目溶接のトーチ移動軌跡を比較すると、いずれもウィーピングの運棒を示しているが、2パス目の方が振り幅が広く、ゆっくりと運棒されていたことが窺われる(図7 - 37)²²。

²² なお、一般技能者は、ヒアリングで判断する限り、必ずしも2パス目溶接をゆっくりと行うことを重視していたようには見受けられなかったが、実際の運棒操作を見ると、高度熟練技能者と同様、2パス目溶接を1パス目溶接より広くウィーピングしていることが窺われる。

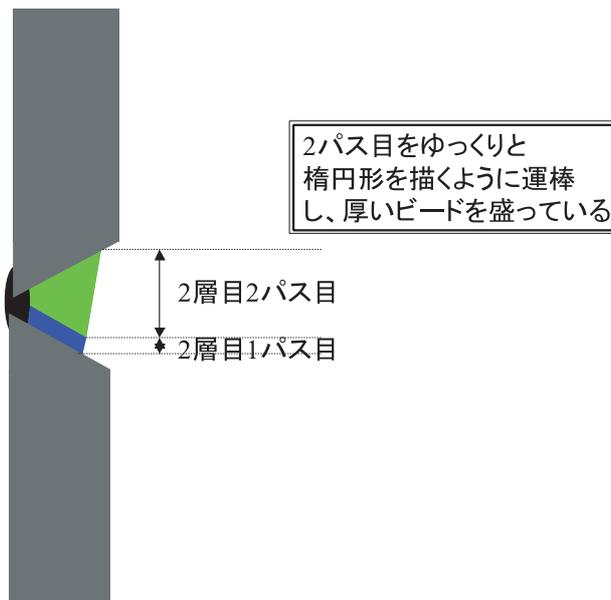
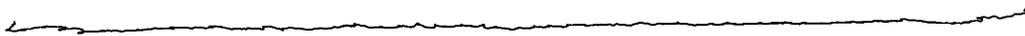


図7 - 36 横向き姿勢溶接の中間層2パス目溶接におけるビードの盛り方

1パス目溶接



2パス目溶接



(注)

- 1 . いずれも9 mm板前進法2層目溶接におけるトーチ移動軌跡。
- 2 . 溶接方向は、右から左である。

図7 - 37 横向き姿勢溶接における中間層1パス目と2パス目のトーチ移動軌跡の比較

高度熟練技能者



一般技能者



(注) いずれも12 mm 板前進法溶接で、2層目まで溶接した溶接結果の写真。

図7 - 38 横向き姿勢溶接の最終直前中間層におけるビードの盛り方

最終直前中間層溶接の特徴

(a) 上の開先部分をわずかに残したビードの盛り方

最終直前中間層では、どれだけ開先を残すかがポイントとなるが、高度熟練技能者は上の開先部分についても、わずかに残したビードの盛り方をしている。ヒアリングによれば、1 mm 程度上の開先部分を残すように意識して、高度熟練技能者は溶接を行っているが、溶接結果を見ても、それが十分窺える。図7 - 38は、12 mm 板前進法溶接の2層目まで溶接した溶接結果であるが、一般技能者がほとんどギリギリまで2層目2パス目のビードを盛っているのに対し、高度熟練技能者は同層同パスのビードを多少余裕をもたせて盛っていることが窺われる。

高度熟練技能者がこのようなビードの盛り方をしているのは、最終直前層をどこまで盛るかにより、最終層ビードの余盛りの高さが決まるからである、最終層での運棒はビード外観を整えることを目的としたゆっくりとした運棒であり、ビードの厚みを帯びやすいため、最終直前層のビードを盛りすぎると、余盛りがかなり高くなる可能性が高い。最終層ビード外観を良好なものにする意味でも、最終直前層において開先をわずかに残すことは重要であり、第4章で述べたとおり、横向き姿勢溶接では上の開先の残り部分が少なくなる傾向があることを考えると、特に上の開先の残し幅に注意する必要がある。

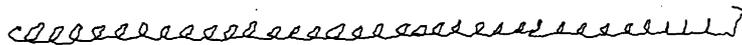
最終層溶接の特徴

(a) 均等なピッチ幅の楕円形の運棒

最終層溶接における高度熟練技能者の作業の特徴は、最終層において楕円形を描く運棒を行っていることである。この点を見るために、9 mm 板前進法溶接の3層目溶接における高度熟練技能者のトーチ移動軌跡を見ると、各パスとも均等なピッチ幅の楕円形を描く運棒をしていることが窺われる（図7 - 39）。

このように楕円形の運棒を行っている理由としては、最終層の運棒がビードの模様を決め、楕円形を描く運棒を行った方が、波形のビード外観を形成しやすいためである。また、ピッチ幅を均等にした方が、ビード外観が良好になる。この点は、高度熟練技能者向けヒアリングからも確認することができる。また、完成品の写真を見ても、ビードの間隔が整った波形状のビードとなっていることが窺われる（図7 - 40）。

1 パス目溶接



2 パス目溶接



（注）

- 1 . いずれも9 mm 板前進法3層目溶接におけるトーチ移動軌跡。
- 2 . 溶接方向は、右から左である。

図7 - 39 横向き姿勢溶接の最終層における運棒

高度熟練技能者



一般技能者



(注) いずれも 9 mm 板前進法溶接の完成品の写真。

図 7 - 40 横向き姿勢溶接の完成品のビード外観の比較

(b) 低い余盛り

最終層溶接における高度熟練技能者の作業の特徴として、余盛りが低く仕上がっていることが挙げられる。実際、12 mm 板前進法溶接（最終層3パス仕上げ）の完成品の写真を見ると、高度熟練技能者の方が余盛りが低くなっている（前掲図7-40）。

このように高度熟練技能者が低い余盛りの最終層仕上げを実現できているのは、見たとおり、最終直前層において開先をわずかに残すようにビードを盛ったためである。最終層ではビードが盛り上がりやすいので、最終層のみの運棒で低い余盛りを仕上げることは困難であり、その直前層における運棒が鍵を握る。

(c) 少ないパス数

3番目の特徴としては、最終層を少ないパス数で溶接できていることが挙げられる。今回の溶接作業は、層数パス数の選択については、原則として作業者の自由に任せていたが、一般技能者が9 mm 板、12 mm 板をいずれも3層6パス（3層目はいずれも3パス）で溶接を行っていたのに対し、高度熟練技能者は両方とも3層5パス（3層目はいずれも2パス）で作業をした²³。

このように、高度熟練技能者の最終層におけるパス数が少ない理由としては、高度熟練技能者は比較的速く運棒操作を行うことができるため、上の層になり、振り幅が広がっても、溶接した止端部が1回のウィーピングの間に固まったり、垂れたりする可能性が少ないことが挙げられる。溶接作業の経験が少ないと、止端部の状態を確認しながらウィーピングを行うことになるため、振り幅が広がった場合、1回のウィーピングの間に止端部で溶接欠陥などが生じるリスクが高く、振り分け数を増やして対応した方が安全なことが多い。

²³ 12 mm 板については、高度熟練技能者に3層6パス（3層目3パス仕上げ）による溶接作業も作業してもらったが、これは、一般技能者との比較のためであり、高度熟練技能者自身の意思ではない。

板厚を変更したときの特徴

(a) 中間層溶接における少ないパス数

板厚が厚くなったときの高度熟練技能者の作業の特徴として、中間層溶接におけるパス数の選択数が少ないことが挙げられる。19 mm 板溶接は5層で溶接が行われるが、一般技能者が5層15パス（1層目1パス、2層目2パス、3層目3パス、4層目4パス、5層目5パス）で実施しているのに対し²⁴、高度熟練技能者は5層12パス（1層目1パス、2層目2パス、3層目2パス、4層目3パス、5層目4パス）で作業しており、最終層である5層目だけではなく、中間層である3層目、4層目のパス数も、高度熟練技能者は少ない。

このように、高度熟練技能者の中間層におけるパス数が少ない理由としては、でも述べたとおり、高度熟練技能者は比較的速く運棒操作を行うことができるため、板厚が厚くなり振り幅が広くなっても、溶接した止端部が1回のウィーピングの間に固まったり、垂れたりする可能性が少ないことが挙げられる。

トーチの傾け方を変更したときの特徴

(a) 速い運棒

トーチの傾け方を変更し、前進法溶接から後退法溶接へ変更したときの高度熟練技能者の作業の特徴として、前進法溶接に比べ運棒速度が速く、よりストレートに近い運棒をしていることが挙げられる。例えば、高度熟練技能者の9 mm 板2層目1パス目溶接について、前進法溶接と後退法溶接のトーチ移動軌跡を見ると、前進法溶接はわずかにウィーピングしているが、後退法溶接はほとんど振り幅がなく、ストレートに近い運棒である（図7 - 41）。参考までに、同じ9 mm 板2層目1パス目溶接について、一般技能者の前進法溶接と後退法溶接のトーチ移動軌跡を見ると、前進法溶接よりも後退法溶接の方が振り幅が広く、高度熟練技能者と対照的である（図7 - 42）。

このように、高度熟練技能者が後退法溶接で速い運棒となっているのは、高度熟練技能者自身が後退法溶接を得意としていることに加え、第4章でも述べたとおり、後退法溶接の場合、ビードが凸になりやすく、厚みを帯びやすいため、速く運棒することが求められるためである²⁵。

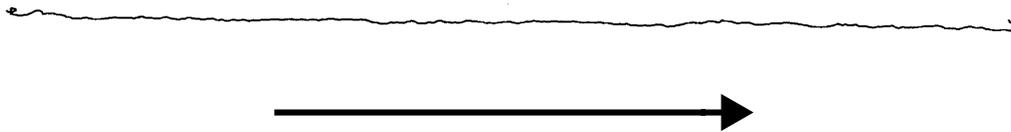
²⁴ 厳密に言えば、一般技能者の19 mm 板溶接は、3層目まで作業してもらい、4層目溶接以降は撮影時間節約のため、省略している（前進法5層目溶接はビデオ教材用に撮影している）。4層目溶接以降のパス数の想定は、一般技能者向けヒアリングによる。

²⁵ 一般技能者において後退法溶接の方が前進法溶接よりも振り幅が広がった理由としては、一般技能者自身が前進法溶接を得意としていること、溶接技能解析システムの装着、撮影のための無理な姿勢の保持等、イレギュラーな条件が重なり、余計に後退法溶接が作業しにくかったことなどが考えられる。

前進法溶接



後退法溶接



(注)

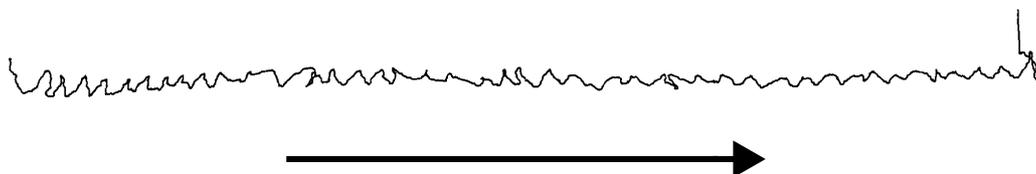
1. いずれも9 mm板2層目1パス目溶接におけるトーチ移動軌跡。
2. 溶接方向は、前進法溶接は右から左、後退法溶接は左から右である。

図7 - 41 横向き姿勢溶接の前進法溶接と後退法溶接の比較 (高度熟練技能者)

前進法溶接



後退法溶接



(注)

1. いずれも9 mm板2層目1パス目溶接におけるトーチ移動軌跡。
2. 溶接方向は、前進法溶接は右から左、後退法溶接は左から右である。

図7 - 42 横向き姿勢溶接の前進法溶接と後退法溶接の比較 (一般技能者)

(2) **高度熟練技能者のカンとコツ**

通常の溶接条件の下でのカンとコツ

通常の溶接条件の下での、板の溶接に関わるカンとコツを整理すると、表 7 - 43 のとおりである。

(a) **作業姿勢**

作業姿勢でのポイントは、適正なトーチ角度を長い時間維持できるようにすること、溶融池の状況、母材ノズル間距離の保持、ビード形状を常に確認することである。

高度熟練技能者は、トーチ角度の保持のため、できるだけリラックスした姿勢をとるようにしている。また、溶融池や母材ノズル間距離、ビード形状を確認するため、頭を適宜傾け溶接部分に対する視野を確保している。

(b) **トーチの構え方**

トーチの構え方でのポイントは、ガスシールド効果を保持し、ブローホールなどの溶接欠陥を招かないようにすることである。

このため、高度熟練技能者は母材ノズル間距離が安定するように、トーチを構えている。

(c) **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、運棒を小さなウィーピングで行うこと、溶融池の状態（表面にぶれが生じるか生じないかの状態）やアーク音などにより、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。

(d) **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、後の層が良好に盛れるように平らにすることである。

これを行うため、高度熟練技能者は、進行方向とは逆の方向に傾いたウィーピングを行い、柵を作ること、2パス目溶接の振り幅を1パス目溶接より広くすること、等を実践している。

表7 - 43 通常の板の横向き姿勢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
作業姿勢	適正なトーチ角度を長い時間保持できるような姿勢を維持する。	できるだけリラックスした姿勢をとる。
	溶融池の状況、母材ノズル間距離の保持、ビード形状を常に確認する。	頭を適宜傾け、溶接部分の視線を確保する。
トーチの構え方	ガスシールド効果を保持する。	母材ノズル間距離を安定させる。
初層溶接	適切な裏波を出す。	小さなウィーピングにより運棒する。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	融合不良をなくす。後の層が良好に載るようにする。	進行方向とは逆方向に傾いたウィーピングを行い、棚を作る。2パス目溶接の振り幅を1パス目溶接より広くする。
最終層直前の中間層溶接	最終層の余盛りが適切な高さになるように、開先をわずかに残す。	母材面よりわずかに低くなるように仕上げ、特に上の開先も残す。
最終層溶接	ビード外観を良好にする。	均等なピッチ幅の楕円形を描く運棒を行う。余盛りを十分低い高さに収める。

(e) 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、最終層の余盛りが適切な高さになるように、開先をわずかに残すことである。

これを行うため、高度熟練技能者は、母材面よりわずかに低くなるように仕上げ、特に上の開先も残すように心掛けること、等を実施している。

(f) 最終層溶接

最終層溶接のポイントは、ビード外観を良好にすることである。

ビード外観を良好にするため、高度熟練技能者は均等なピッチ幅の楕円形を描く運棒を行い、余盛りも十分低い高さに収まるようにしている。

なお、高度熟練技能者は少ないパス数で最終層を溶接しているが、これは高度熟練技能者の技能が高いゆえになせる技であり、溶接経験の浅い作業者は、きちんと適切なパス数に振り分け作業を行うべきである。

特殊な溶接条件の下での対応方法

板の溶接において、板厚やトーチの傾け方（前進法溶接か後退法溶接か）などの溶接条件が変わったとき、これに伴う対応方法は、表7 - 44のとおりである。

表7 - 44 板の横向き姿勢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。	前層ビード及び止端部を一様に溶かす運棒と微調整の運棒の間の運棒速度により明確な違いを与える。
後退法溶接で作業したとき	溶融池が凸になり、ビードが膨らみやすい。	振り幅を狭くし、速い運棒を行う。

(a) 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ため、溶接熱が開先面から外部に逃げにくくなる。

このため、高度熟練技能者は、前層ビード及び止端部を一様に溶かす運棒と、直前の運棒で生じた溶け残しを十分溶かす運棒の間における運棒速度の違いにメリハリをつけ、融合不良などの溶接欠陥が生じないことをより強く意識して運棒している。

(b) 後退法溶接で作業をしたとき

後退法溶接で溶接を行ったとき、前進法溶接に比べ溶融池が凸になりやすく、ビードが膨らみやすいことに気をつけなければならない。

このため、高度熟練技能者は、振り幅を狭くし、速い速度で運棒することで対応している。

管の横向き姿勢溶接への適用

第4章で述べたとおり、管の横向き姿勢溶接は、身体の姿勢の変化を伴う以外は、板の横向き溶接姿勢と、ポイントは や で記したとおりである。これらのポイントを検討すると、下記の4点が基本となっていると推察される。

(a) 視野の確保

溶融池の状態の観察、母材ノズル間距離の状況確認、微調整の運棒操作、最終直前層における開先の残し幅といったポイントは、作業者が溶融池、ノズルの位置、ビードの状況を直接目で確認して初めて実現可能である。このため、作業者がいかに溶接箇所を視野を確保し、その状況をつぶさに観察するかが、基本の1つとなる。

(b) 姿勢の保持

母材ノズル間距離の保持、(a)で述べた視野の確保などのポイントを実現するためには、できるだけ長い時間同じ姿勢で作業を続けることが前提となり、作業姿勢の保持が基本の1つとなる。作業姿勢の維持方法は、作業者によりそれぞれであるため、この方法が適切ということは難しいが、高度熟練技能者のとるリラックスした姿勢での作業は1つの参考になる。

(c) 思い切ったトーチ操作

初層溶接や後退法溶接における狭い振り幅による速い運棒操作を実現するためには、ある程度思い切ってトーチを操作することが必要である。1つ1つポイントを確認しながら作業を進めると、運棒の渋滞が生じやすくなり、裏側にアークが抜けたり、必要以上にビードが厚くなったり、かえって溶接結果が芳しくないものとなるリスクがある。

(d) 常に安定した溶接結果が得られるような訓練

管の溶接では身体の姿勢の変化を伴うため、局面によっては溶接条件が大きく変わる可能性がある。また、今回は全層全パス前進法溶接と後退法溶接のいずれかに固定して作業を行ったが、実務上はできるだけアークを切らないために、1層目は前進法溶接で溶接した後、2層目1パス目は後退法溶接で溶接し、2層目2パス目は前進法溶接で溶接するというように、教科書では教えない手順で作業を進めなければならない場合もある。

このような状況に対応するためには、板の横向き姿勢溶接作業を通じて習得した技能を、いつどのような場合でも発揮できるようにすることが必要であり、環境や溶接条件が変わっても、ビードの盛り幅や並び方、外観等の溶接結果が常に安定しているようにしなければならない。このためには、できるだけ多くの練習を積む必要があり、合間をぬって試験材の残片を用いて、溶接の練習を行うことが、遠回りではあるが最良の方法と考えられる。