

第 8 章 自動車板金の分析

第8章 自動車板金の分析

1. 高度熟練技能者の技能についての総論

本調査研究では、高度熟練技能者の持つ技能を総合的に分析する際の切り口として、成形技術力、観察分析力、判断対策力という3つの能力に着目した。

(1) 成形技術力

成形技術力とは、技能者が考えたとおりに身体と工具をコントロールして、工作物を加工するテクニック面での能力である。

具体的なテクニックとしては、次のようなものがあげられる。

- a. 早く正確にけがくテクニック
- b. 直線を正確に折り曲げるテクニック
- c. 心金を使って均一な円弧に曲げるテクニック
- d. 伸ばし加工において、ハンマで叩く位置を正確に打撃するテクニック
- e. 伸ばし加工において、力任せでなく効率的にハンマで打撃するテクニック
- f. 伸ばし加工において、伸びにくい開放端近くを確実に伸ばすテクニック
- g. 伸ばし加工において、割れる寸前の伸びを検知して加減するテクニック
- h. 絞り加工において、ハンマで叩く位置を正確に打撃するテクニック
- i. 絞り加工において、できるだけ金属を逃がさずに絞るテクニック
- j. 絞り加工において、しわを作らないように加工するテクニック
- k. ならし加工において、見えていないぼうず床の位置を正確に打撃するテクニック
- l. ならし加工において、ハンマの均一な打撃を維持するテクニック
- m. 外フランジ加工において、伸ばしながら倒していくハンマ操作テクニック
- n. 内フランジ加工において、絞りながら倒していくハンマ操作テクニック
- o. ゲージを使って短時間で正確に測定するテクニック
- p. 修正したい量に応じてハンマ打撃力をコントロールするテクニック
- q. 修正したい方向に応じてハンマ操作方向をコントロールするテクニック
- r. 木製当盤の形状を工作物に合わせて最適に調整するテクニック
- s. 効率的な溶接ができるように吹管の炎を最適に調節するテクニック
- t. できるだけ短時間で溶接を済ませる吹管操作テクニック

(2) 観察分析力

観察分析力とは、技能者が成形技術力の挙動を把握して正しい状況にあるか分析し、同時に加工対象の加工部位、加工部位周辺部、工作物全体の状況を、成形中の加工形状の進捗状況とひずみの発生状況を観察して、その程度を分析する認識面での能力である。

具体的な認識項目としては、次のようなものがあげられる。

- a . ゲージを使った加工途中の形状変化の確認
- b . ゲージを使った目標理想形状との差の確認
- c . ゲージを使った加工開始線位置の確認
- d . ゲージを当てる基準面、基準線の変形
- e . ハンマ打撃音が最適な時の打撃音と一致しているかどうかの確認
- f . 上記において音が違っている場合に、ハンマ打撃位置のずれている量の分析
- g . 打撃痕形状によるハンマ操作の分析（特にならし作業）
- h . 伸ばし加工において、伸ばしている量の確認
- i . 伸ばし加工において、割れる寸前の金属表面状態の変化検知
- j . 絞り加工において、しわのでき具合の確認
- k . 絞り加工において、できたしわの形状の確認と割れにつながるかどうかの分析
- l . 外フランジ加工において、伸ばし量と倒す量のバランスが取れているかの分析
- m . 内フランジ加工において、絞る量と倒す量のバランスが取れているかの分析
- o . フランジ加工中に、倒しすぎて周辺にひずみ発生の有無の確認
- p . 各工程終了後の、基準面、基準線のひずみの確認
- q . 各工程終了後の、工作物全体のねじれ、ひずみの確認

(3) 判断対策力

判断対策力とは、加工手順の決定や、観察分析力で得られた結果から、作業中の加工をどう軌道修正するか判断し、あるいはひずみの原因を特定してそれを修正するために必要な対策方法・量・時期を判断するなどの、思考面での能力である。さらにこの判断対策力には、判断根拠としての一般的な金属の物性に関する知識、各種加工法における金属の挙動とその背景にある理論といった幅広い知識が含まれる。

具体的な思考項目としては、次のようなものがあげられる。

- a . 図面から必要な前提条件の把握
- b . 浅い絞りか深い絞りかの判断に基づく基本方針の決定
- c . 手順の利点、欠点を勘案した全体の加工工程の決定
- d . 各加工工程を更に分解した詳細な加工工程の決定
- e . 上記各工程における理想形状の把握

- f . 次の加工工程による変形を考慮した理想形状の修正量の設定
- g . 各工程に必要な工具類の判断と、特殊工具の有無
- h . 木製工具の準備に必要な項目の洗い出しと、実現可能かどうかの判断
- i . 最初の基準面あるいは基準線の選択
- j . 工程の進捗に伴う第2、第3の基準面・線の選択
- k . 用意するゲージ類の決定（使い回しについての判断を含む）
- l . 各加工工程における周辺部位へのひずみ防止策の選定
- m . 各加工工程におけるひずみを防止するためのオフセット方法とその量の判断
- n . 各加工工程における修正がやさしい方向と難しい方向の判断
- o . ゲージから読みとったひずみの発生原因・箇所の判断
- p . 発生したひずみの修正方法と修正量の決定
- q . 修正不可能なひずみが発生した場合の優先順位の決定
- r . ハンマ打撃音に関する観察分析結果からハンマ操作を継続するか、ぼうず床の位置を確認して叩き直すかの判断
- s . 余肉の量と箇所の設定
- t . 余肉を切り落とす回数、タイミングと各回で切り落とす量の設定
- u . 加工中のミスに対するリカバリー方法の選定
- v . 一般的な金属の物性に関する知識
- w . 各種加工法における金属の挙動とその背景にある理論に関する知識

これら3つの能力は相互に密接に連携して、高度熟練技能者の技能を支えている。図8-1にこれらの関係を図式化して示すが、表面上見えているのは成形技術力であるが、その裏で観察分析力と判断対策力が支えており、更にこれを豊富な加工経験と幅広い知識が支えるといった能力構造となる。従って観察分析力と判断対策力があってもしっかりとした成形技術力がなければトータルの技能力としては及ばないことが分かる。

次項以降では、各工程における高度熟練技能者の3つの能力を具体的に分析していく。その際には、高度熟練技能者の能力の中でも表面上にはなかなか見えてこない観察分析力や判断対策力について、「訓練受講生」ができるだけその能力を理解するうえで手がかりとなるようにとの観点で分析する。

技能分野でよく言われるノウハウ、あるいはカンやコツというものは、観察分析力や判断対策力の実践的な断片であるので、個々に習得していくことはもちろん重要であるが、幅広く能力全般を理解したうえで全体的にレベルを高めていくことで技能向上の進捗が早くなり、しいてはノウハウやカン・コツの取得もしやすくなると考える。

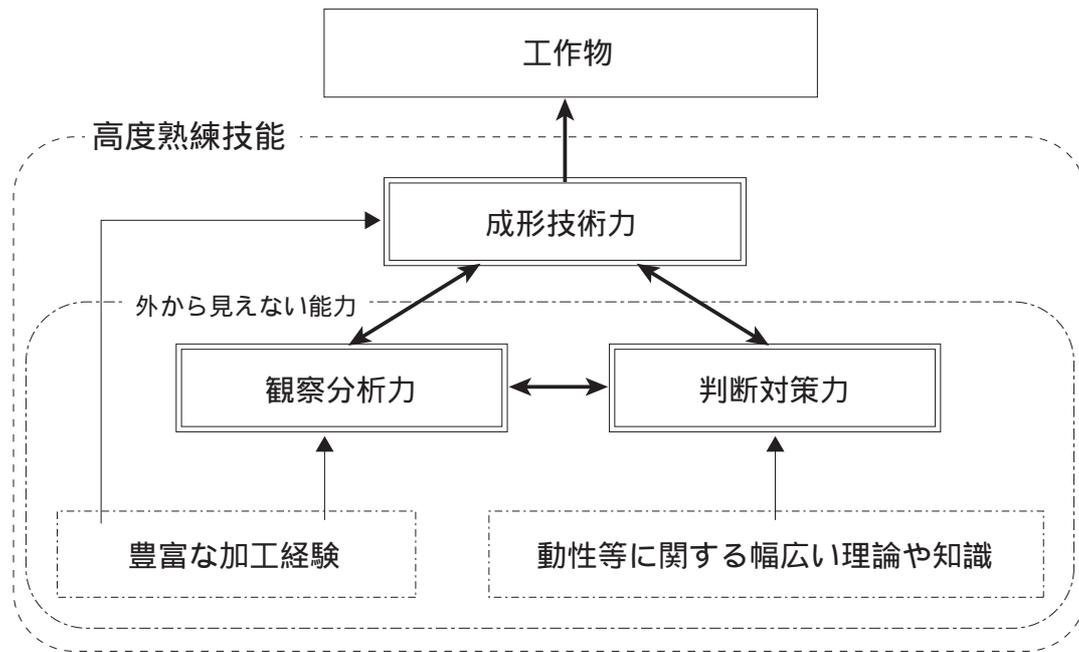


図 8 - 1 高度熟練技能の能力構造

2. 加工工程

加工工程の項目で分析するのは、図面を見たときのチェックポイント、全体の加工工程の選択、各加工工程におけるさらに詳細な加工段取りへの分解などであり、合わせて高度熟練技能者と一般技能者との間で違いが出た部分についての考察もおこなう。

(1) 図面を見たときのチェックポイント

図面を見たときのチェックポイントは、重要なものから軽微なものまで多岐にわたるが、必ず押さえておきたい項目は以下のとおりである。

- a. 全体の大きさ（工作物と素材の両方）
- b. 全体の厚み；深い絞りがあるか浅い絞りだけか
- c. 板厚；標準的な0.8ミリかどうか
- d. 材質；冷間圧延鋼板か
- e. 寸法誤差
- f. 加工基準となりそうな平面部分、直線部分

板の圧延方向については、昔は方向性により加工時の伸びやすさなどの物性に差が生じるということから要チェック項目であったが、最近では品質が向上し方向性がほとんどないため、気にする必要性はなくなっている。

(2) 全体の加工工程

今回の課題に対する全体の加工工程は、高度熟練技能者と一般技能者の内容は一致し、次のような工程になった。

補助材成形

本体 R 550 ~ R 55の絞り加工

本体フランジ加工

本体アーチ部加工

アーチ部フランジ加工

補助材溶接

この工程を決定する上で選択肢となった判断項目は以下のとおりである。

- a. アーチ部の R 100を一度伸ばしてから次のフランジ加工をおこなうか、アーチ部とフランジを一体で加工するか
- b. 本体フランジ部を加工してから補助材を組み付けるか、補助材を組み付けてから本体フランジを加工するか

aの選択肢で考慮したのは、加工精度と速度の兼ね合いで、どちらが良いかを悩んだためである。アーチのRが大きくて深くなると伸ばす量が大きくなるため、いったん伸ばしてから反対に絞ってフランジに加工するのでは、加工効率が落ちて精度も出にくくなる。フランジの幅が広い場合も同じ傾向になる。今回の課題ではアーチ部はR 15、フランジの幅が10ミリということで、アーチ部の加工とフランジの加工を分けておこなった方が寸法精度は出ると高度熟練技能者は判断した。

bの選択肢で考慮したのは、本体フランジの加工の際に、周辺部位を含めたひずみがどう発生するかを読み、この動きが大きくてかつ予測しにくい性質であれば、先に補助材を組み付けて拘束条件をきつくした方が、加工精度は出やすくなる。一方、本体フランジ加工時の動きがそれほど小さくなく、かつ予測しやすい性質であれば、補助材を組み付けずに単独で加工したほうが作業性は良くなる。今回の課題では本体フランジ単体で加工する方を高度熟練技能者は選択した。

一般技能者が、当初初めて図面を見た際に想定した加工工程は、本体フランジの加工を補助材の溶接後におこなう方であった。その後詳細な検討を加えた結果、実際の加工時には高度熟練技能者と同じ全体工程になったが、技能者の経験や技能によっては全体工程が異なることはおかしなことではなく、全体工程に唯一の正解といったものは存在しない。従って、技能者が全体工程を考える際には、技能者自身が加工精度を出せると判断できるかどうかで手順を決めていくことが、判断対策力としてのポイントとなる。

(3) 詳細な加工段取り

全体の各加工工程の一つ一つは、更に詳細な加工段取りに分解することができる。この詳細な加工段取りをどのレベルまで分解できるか、分解した各段取りでは加工、形状確認、修正のどの作業をするのか、加工の場合にはその段取り終了時の理想形状がイメージできているのか、またそれぞれの作業の背景にある理論的な裏付けが理解できているか、などがこの能力の構成要素になる。

実際の加工精度を出すための鍵を握る部分であり、判断対策力としても重要なポイントである。この点に関する具体的な実例として、今回の課題における「R 550～R 50部の絞り」という工程が、高度熟練技能者によって70以上の段取りに分解される例を示す。各加工段取りの内容の説明とその理論的な裏づけについては別項で分析する。

- Step 01 直線部分の第1段の曲げ(約45度まで)
- Step 02 R 550部分の平面部側にひずみ防止のビードを形成
- Step 03 R 550と直線部分の境界にひずみ防止の折れを形成
- Step 04 R 550部分の端面に絞りを均一にするための波状のしわを形成

- Step 05 R 550部分の第 1 段の絞り（約45度まで）
- Step 06 R 55部分と R 550部分の境界にひずみ防止の折れを形成
- Step 07 R 55部分の第 1 段の絞り（約45度まで）
- Step 08 直線部分の第 2 段の曲げ（約80度まで）
- Step 09 R 550と直線部分の境界にひずみ防止の折れを形成
- Step 10 R 550部分の端面に絞りを均一にするための波状のしわを形成
- Step 11 R 550部分の第 2 段の絞り（約80度まで）
- Step 12 定盤を使って基準平面部の確認
- Step 13 内 R ゲージを使い加工開始線位置の確認
- Step 14 内輪郭ゲージを使い加工形状の確認
- Step 15 R 55部分と R 550部分の境界にひずみ防止の折れを形成
- Step 16 R 55部分の第 2 段の絞り（約80度まで）
- Step 17 定盤を使って基準平面部の確認
- Step 18 内輪郭ゲージで加工形状の確認
- Step 19 直線部分の第 3 段の曲げ（90度まで）
- Step 20 R 550と直線部分の境界にひずみ防止の折れを形成
- Step 21 R 550部分の第 3 段の絞り（90度まで）
- Step 22 定盤を使って基準平面部の確認
- Step 23 内 R ゲージを使い加工開始線位置の確認
- Step 24 内輪郭ゲージを使い加工形状の確認
- Step 25 外輪郭ゲージを使い、加工形状の確認
- Step 26 R 55部分と R 550部分の境界にひずみ防止の折れを形成
- Step 27 R 55部分の第 2 段の絞り（90度まで）
- Step 28 定盤を使って基準平面部の確認
- Step 29 内輪郭ゲージで加工形状の確認
- Step 30 余肉の切断
- Step 31 切断によるひずみを修正
- Step 32 各種ゲージで形状の確認（基準平面部の確認含む）
- Step 33 直線部分の修正
- Step 34 各種ゲージで形状の確認
- Step 35 R 550部分の修正（加工開始線の修正含む）
- Step 36 各種ゲージで形状の確認（基準平面部の確認含む）
- Step 37 R 55部分の修正
- Step 38 各種ゲージで形状の確認（基準平面部の確認含む）
- Step 39 ならし部分の確認（油性ペンでマーキング）

- Step 40 R 550の端部側 2 列のならし
- Step 41 R 550のならず部分の基準平面側 1 / 3 のならし
- Step 42 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 43 直線部分の修正
- Step 44 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 45 R 550部分の修正
- Step 46 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 47 R 55部分の修正
- Step 48 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 49 R 550のならず部分の次の 1 / 3 のならし
- Step 50 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 51 直線部分の修正
- Step 52 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 53 R 550部分の修正
- Step 54 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 55 R 55部分の修正
- Step 56 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 57 R 550のならず部分の外側 1 / 3 のならし
- Step 58 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 59 直線部分の修正
- Step 60 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 61 R 550部分の修正
- Step 62 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 63 R 55部分の修正
- Step 64 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 65 R 55のならし
- Step 66 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 67 直線部分の修正
- Step 68 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 69 R 550部分の修正
- Step 70 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)
- Step 71 R 55部分の修正
- Step 72 各種ゲージで形状の確認 (基準平面部の確認含む)

3. 板取りと切断

板取りと切断の項目で分析するのは、板取をおこなう時の要点、余肉の設定、切断をおこなう時の要点である。

(1) 板取りの要点

今回の課題では、部品素材は本体と補助材の2点だけであり、それに技能者が必要と判断したゲージを加えて合計7点が板取りの対象となった。なお、ゲージの種類については高度熟練技能者と一般技能者で違いがあったが、点数としては同じになっている。ゲージについての詳細な考察は別項目でおこなう。

図8-2は、今回の課題を高度熟練技能者が板取りしたものである。(写真を見やすくする都合で、素材鉄板のけがき線の上に別途切断した部品とゲージを重ねて置いている)

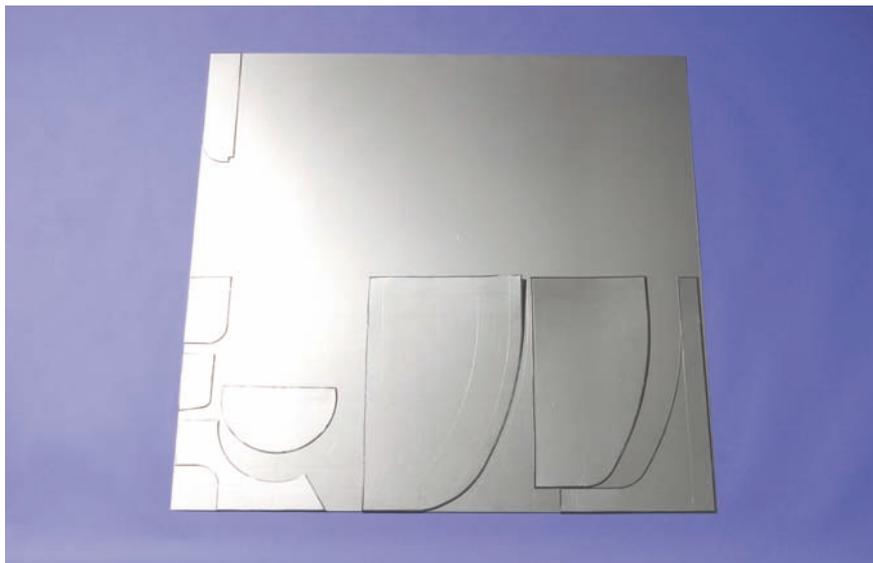


図8-2 高度熟練技能者の板取り結果

図の中で、手前側に並んだ部材の中央に位置する一番大きなものが本体の素材、奥側左手の隅に位置する細長いものが補助材の素材である。

板取りをおこなう際の要点は以下のとおりである。

- a. 素材鉄板の端面の有効利用
- b. 類似形状を並べる
- c. 入り組んだ配置にしない

aの要点は、素材鉄板の端面の直線を有効に活用しているかどうかである。特に素材が機械加工で切断されている場合には、端面の直線の精度は手で切断するよりは高いので（角の直角度については必ず確認する必要がある）部品素材やゲージの長い直線部分をうまく組み込めれば、切断量を減らせて加工効率を上げることができる。図8 - 2の例では、2種類の外輪郭ゲージと補助材が素材鉄板の3つの隅に効果的に配置されている。

bの要点は、同形状や類似形状の部材を並べることで、けがきを簡単にすることである。図8 - 2の例では、R 550～R 55の形状に関して、外輪郭ゲージ、内輪郭ゲージ、本体用素材が類似形状になるため、これら3つの素材が並んで配置されている。なお、外輪郭ゲージと内輪郭ゲージの形状は板厚分R寸法が変わるため同一にはならない。（外輪郭ゲージはR 550～R 55、内輪郭ゲージはR 549～R 54となる）

cの要点は、鉄板を切断する場合、切り口の左右で鉄板を上下反対方向にそらせないと切れないため、適当な大きさに切り分けられるような配置にすることである。鉄板では、紙や布を切るように最初から輪郭線に沿って切断する方法は取れないため、板取り時に入り組んだ配置にすると、実際の作業は難しくなり、また素材のそりやねじれが大きくなり、修正作業が大変になる。

図8 - 2の例では、まず素材の鉄板を2分割し、それからR 550～R 55外輪郭ゲージと内輪郭ゲージのブロック、本体素材、その他ゲージ類のブロックに切り分けて、という段取りが可能な配置になっている。加えて、上半分側には切断位置から離れた場所に補助材が配置されているだけなので、最初の2分割時には上半分側を大きく曲げながら切断することができ、下半分側はなるべく平面のままにしておけるような工夫もされている。

(2) 余肉の設定

余肉を設定する箇所の原則は、以下のとおりである。

- a．伸ばし加工により寸法が短くなる箇所
- b．絞り加工により寸法が長くなる箇所（マイナスの余肉）
- c．端に近くて伸ばしや絞りが利かない箇所（他の加工の邪魔にならない場合）
- d．溶接によるひずみを押さえられる箇所（他の加工の邪魔にならない場合）

図8 - 3は、今回の課題を高度熟練技能者が設定した余肉の箇所である。（図中の実線が切断線を表している）

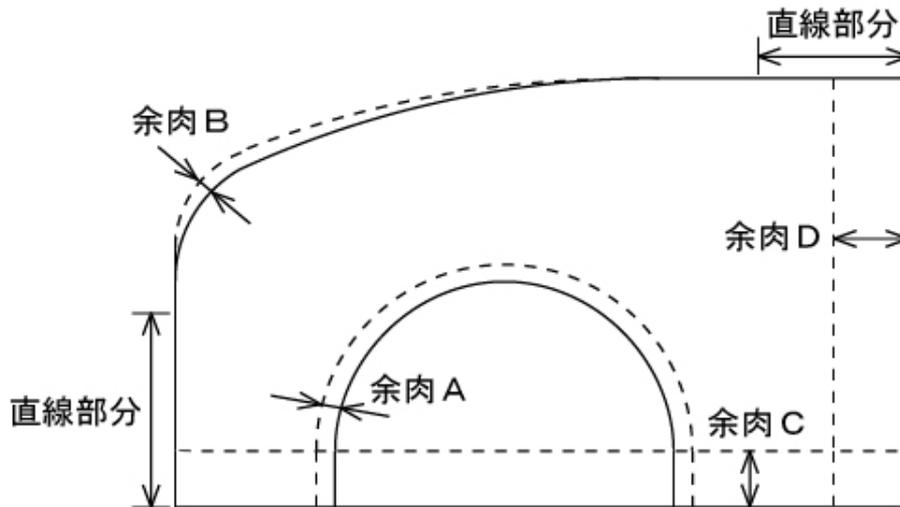


図8 - 3 余肉の設定箇所

余肉 A では、アーチ部の伸ばし加工により縦方向に縮む可能性を考慮して余肉量を2ミリに設定した。この余肉は伸ばし加工の作業対象となるため、必要以上に大きくすると作業効率が下がり精度も出しにくくなる。従ってぎりぎり必要な量で設定する必要がある。

余肉 B では、R 550 ~ R 55の絞り加工により縦方向に伸びる可能性を考慮して、マイナスの余肉を設定した。設定した量は、最も伸びる R 55の中心部分でマイナス20ミリである。この余肉も絞り加工の作業対象となるため、できるだけマイナス量を大きくした方が作業効率は上がるが、万一の場合には寸法不足となる危険性もある。

余肉 C では、アーチ部の伸ばし加工とその後続くフランジの絞り加工において、端部では変形しにくいことを考慮して30ミリの余肉を設定した。こうした端部の加工では金属の拘束が難しいことから、伸ばしや絞りの最中に逃げが生じてしまい必要な変形が得られないという問題がある。そのため最終的に必要な形状の端の部分が十分に加工できるように、その外側に余肉を設けるものである。今回の課題では、この余肉部分を設けた場合にも、R 550 ~ R 50の加工には影響がないことから（直線部分にかかるため心金を使って曲げる範囲が広がるだけ）、必要十分な余肉量を確保した。

余肉 D では、補助材を本体に溶接する際のひずみを抑えるために、40ミリの余肉を設定した。溶接時にいったん伸びた金属は冷却時に収縮しようとして、溶接箇所では縮み、その周辺は若干盛り上がるといった挙動を示す。こうした熱変形によるひずみは後からの修正によって完全に取ることは不可能であり、特に溶接箇所のそばに開放端があるとこの変形が顕著に生じてしまう。今回の課題では、開放端側に余肉を設けることで、顕著に伸びた開放端部分を切り落とせるようにしたものである。余肉 C と同様に、この余肉部分を設けた場合にも、R 550 ~ R 50の加工には影響がないことから（直線部分にかかるため心金を使って曲げる範囲が広がるだけ）、必要十分な

余肉量を確保した。

余肉 C と D については、第 2、第 3 の基準となる直線部分を長くすることになるため、寸法チェックの観点からは基準線が長くなって安定するといったプラスの効果も期待できる。

(3) 切断の要点

板取りをおこなう際の要点は以下のとおりである。

- a . 切断作業は大きいところ、やさしいところから切断し、小さな R のところは最後におこなう
- b . 切断する際は、けがき線が良く見えるように光の位置を調節する
- c . 余肉量を調整して切断する箇所にはマーキング等をおこなう
- d . 切断するときの姿勢は、腕が浮かないように脇を締めて腕を固定する
- e . 刃の特性を理解して正しい角度を保つ
- f . 切断形状に応じて工具を選択する
- g . 切断後にすぐに形状の確認をおこなう

a の要点は、金切りばさみに対する手の慣れを考慮して、最初は大きくてやさしいところから始めることである。直線からすぐに小さな R を切断しようとする、感覚が合わずにけがき線からずれてしまうことになりかねない。直線や大きな R から始めることが肝要である。

c の要点は、ミス防止の観点で重要なことであり、今回の課題においても、R 55 のマイナス余肉をつける箇所に高度熟練技能者は油性ペンでマーキングしてから切断をおこなっている。

f の要点は、直刃ばさみと柳刃ばさみの大小の使い分けの問題であるが、高度熟練技能者は、R 100 を境目に柳刃ばさみの大小を使い分けていた。また、柳刃ばさみの刃先は直線なので、場合によっては持ち替えずにそのまま使うこともある。

g の要点は、部材やゲージの切断後、例えばゲージの直線部分であれば定盤にあてて直線を確認する、外輪郭ゲージと内輪郭ゲージのセットがあればそれを合わせて板厚分の間隔ができていないか確認するといったことである。

4 . ハンマ操作と工作物の保持

ハンマ操作と工作物の保持の項目で分析するのは、ハンマの基本動作の分析、ハンマの打撃回数の分析と工作物の保持に関する要点である。ハンマの打撃位置の分析とハンマ打撃音の分析は「ならし」に関する分析の項目で取り扱う。

(1) ハンマの基本動作の分析

ハンマの基本的な打撃動作を、二次元動作分析システムで分析してみた。対象とした打撃動作は以下の 2 種類である。

- a . R 550部の絞り加工における板金ハンマの打撃動作
- b . R 55部の絞り加工における板金ハンマの打撃動作
(ならしにおけるハンマの打撃動作はならしの項で考察する)

打撃動作の動作分析をするときの計測点 Marker 1 ~ Marker 8 を図 8 - 4 のように定めた。

- Marker 1、2 ハンマ打撃面の角
- Marker 3、4 ハンマ上面の角
- Marker 5 ハンマの柄の先
- Marker 6 ハンマを保持している手のひらの中心
- Marker 7 肘
- Marker 8 肩



図 8 - 4 動作分析の計測点設定

R 550部の絞り加工におけるハンマの打撃動作を分析し、連続フレーム表示したものを図8 - 5に、その軌跡を表示したものを図8 - 6に示す。



図8 - 5 ハンマ動作 (R 550絞り) 連続フレーム表示



図8 - 6 ハンマ動作 (R 550絞り) 軌跡表示

同様に、R 55部の絞り加工におけるハンマの打撃動作を分析し、連続フレーム表示したものを図8 - 7に、その軌跡を表示したものを図8 - 8に示す。



図8 - 7 ハンマ動作 (R 55絞り) 連続フレーム表示



図8 - 8 ハンマ動作 (R 55絞り) 軌跡表示

これらの分析結果からは、ハンマの基本的な打撃動作において、高度熟練技能者の肩と肘の位置はほとんど動いておらず、肘から先を使い手首のスナップを利かせてハンマを操作していることが分かる。腕全体を振り上げるような大きなモーションにはなっていない。

両者ともに絞り加工時のハンマ操作であるが、R 550部の場合とR 55部の場合では加工量や加工しやすさなどが異なるために（例えばR 550では金属製のボウズ床を使用しているが、R 55では木製当盤を使っている）打撃面の高さ（すなわち、工作物と身体の高さ方向の位置関係）が違っている。今回の加工ではR 550部の場合は打撃

位置が技能者の胸ポケットの下のあたりに、R 55部の場合は胸ポケットとへその間のあたりにある。(R 55の場合には、踏み台の上に立って作業をおこなっている)

しかしながら、打撃位置の高さが違ったにもかかわらず、振り上げた時にハンマの最も高くなる位置は目の高さで一定している。このことから、ハンマの打撃力の調整は打撃位置の高さで調整し、ハンマの振り上げ高さで調節するのではない、と考えられる。ハンマのコントロールを考えると、肩の位置を安定させることが重要であり、関節の可動範囲を考えると、下腕を振り上げた際の限界の位置を目の高さまでにしておくことが必然となる。状況に応じて、例えば踏み台を利用して加工位置を調整するといったことも、高度熟練技能者の持つ技のひとつである。

図8 - 7、8 - 8の分析結果をデジタル化(数値化)して、上下の動き(ここではZ軸方向と定義)についてグラフ化したものが、図8 - 9である。

横軸に時間(単位はフレーム数となっており60フレームで1秒に相当)を、縦軸に距離(単位はミリメートル)をとっている。

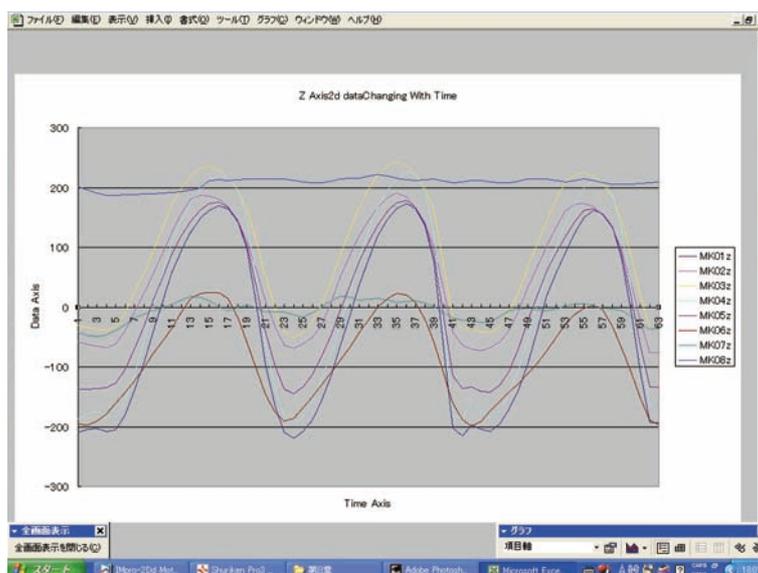


図8 - 9 ハンマ動作上下動(Z軸方向)のグラフ

約1秒間で3回打撃しており、肘の位置のMarker 7が常にZ軸の原点付近にあって、ハンマ打撃面(もしくは上面)のストロークが座標原点を中心に上下に200~240ミリとほぼ同じ量になっていることが分かる。また肩の位置であるMarker 8はほぼ直線となっており、非常に安定していることも分かる。

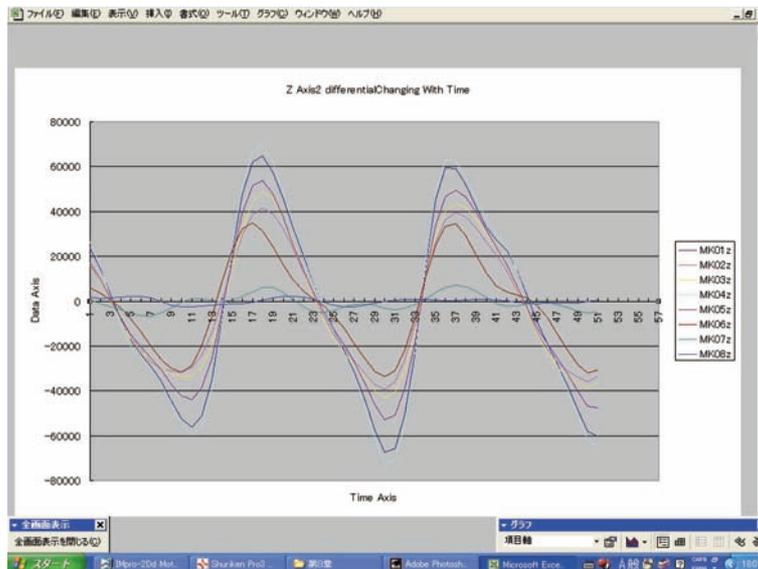


図 8 - 10 ハンマ動作上下動（Z 軸方向）の速度グラフ

図 8 - 9 の分析結果を微分して速度を求め、グラフ化したものが図 8 - 10である。ハンマの打撃操作の中で、上下動するハンマ速度の絶対値は、振り上げる時も、振り下ろす時も同じであるが、その速度変化の傾きは振り下ろす時の方が急である。これを分かりやすくするために、速度を再度微分して加速度のグラフにしたものが図 8 - 11である。

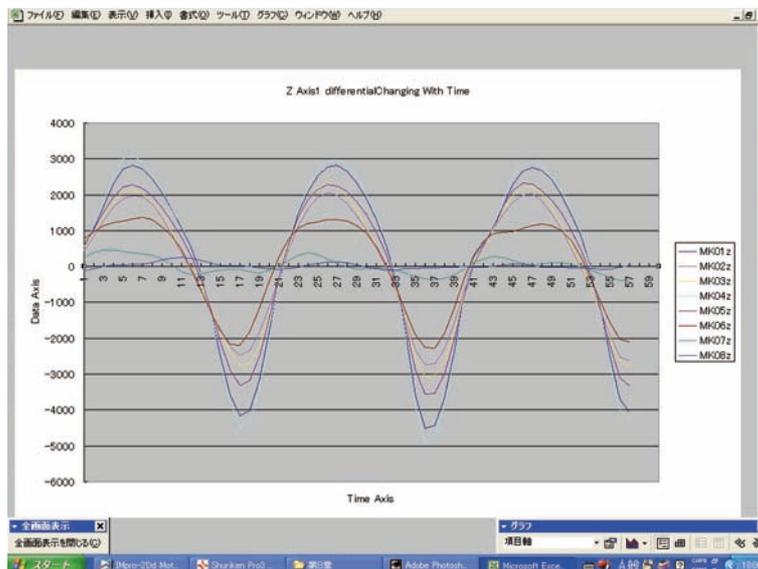


図 8 - 11 ハンマ動作上下動（Z 軸方向）の加速度グラフ

パワーは加速度に比例するので、この分析結果によれば、振り上げる時よりも振り下ろす時の方が1.2~1.5倍の力がかかっていることが分かる。

(2) ハンマの打撃回数の分析

高度熟練技能者と一般技能者のハンマ打撃回数を、R 550～R 55の絞り加工の工程でカウントして分析した。表 8 - 12は高度熟練技能者の分析結果、表 8 - 13は一般技能者の分析結果である。

図表 8 - 12 ハンマ打撃回数（高度熟練技能者）

	粗加工	仕上げ	小計	ならし修正	合計
木うす	(275)	(85)	360		360
木製当盤	(546)	(902)	1 448		1 448
ぼうず床	(482)	(1 718)	2 200	426	2 626
心金	(58)	(239)	297	17	314
合計	(1 361)	(2 944)	4 305	443	4 748
作業時間(分)			55	56	111

図表 8 - 13 ハンマ打撃回数（一般技能者）

	粗加工	仕上げ	小計	ならし修正	合計
木うす	(1 553)	(459)	2 012	170	2 182
木製当盤	(1 995)		1 995		1 995
ぼうず床	(2 069)	(2 421)	4 490	725	5 215
心金	(80)	(144)	224		224
合計	(5 697)	(3 024)	8 721	895	9 616
作業時間(分)			141	56	197

ここで、粗加工終了時は高度熟練技能者と一般技能者各々の自己申告によるものであるため、粗加工終了時の進捗状況は両者で大きく違っていた。このため、粗加工と仕上げの各工程の数字は分析対象としては不適切と考え、ならし前までの小計で分析をおこなった。また、作業時間は表 7 - 1 と表 7 - 98から求めたものである。

上記の分析結果から、高度熟練技能者のハンマ打撃回数は、粗加工から仕上げ加工までの工程とならしと仕上げの工程の両方で、一般技能者の0.5倍であった。粗加工から仕上げまでの作業時間は、一般技能者が高度熟練技能者の2.5倍になっており、ハンマの打撃操回数は作業時間にほぼ比例しており、ハンマ操作の技能向上が加工効率向上につながる事が分かる。

ならしと修正作業の工程では、ゲージによるチェック作業が要するため、ハンマ打撃回数と加工時間は単純には比例せず、作業時間は結果として両者ともほぼ同じであった。このことは高度熟練技能者がゲージ等による寸法確認作業に時間をかけていることを示し、この点に関する詳しい考察は、別途ゲージの項目でおこなう。

加工法（工具）ごとに細かく分析すると、木製当盤と心金を使った作業でのハンマ打撃回数にはさほど差が見られないが、ぼうず床で2倍、木うすでは5.6倍の差が生じている。これは加工法（工具）に対する習熟度（熟練度）の違いが原因であると考えられる。

ならし修正工程の修正作業で使用する木うすと心金のハンマ打撃回数について、高度熟練技能者と一般技能者では顕著な差が現れている。一般技能者が使用している木うすを高度熟練技能者がまったく使用しなかったのは、木うすで作業するような大幅な修正が高度熟練技能者は必要なかったためと考えられる。他方、直線部分の曲げの修正に必要な心金を一般技能者が使用していないのは、ここの部分の確認・修正が甘くなっていたためと思われる。

(3) 工作物の保持に関する要点

工作物の保持に関する要点は以下のとおりである。

- a．工作物をぶれないように安定させる
- b．肘を曲げるか伸ばすかは、ケースバイケースで安定するほうを選ぶ
- c．工作物のどこがぼうず床に当たっているかは左手の感覚で把握する

bの要点の実例として、肘を伸ばして工作物を保持しているケースを、図8-14に高度熟練技能者の例、図8-15に一般技能者の例として示す。どちらの場合も、工作物の先端を確実につかんで、肘から手首までの下腕全体を使って工作物を保持している様子が分かる。



図 8 - 14 肘を伸ばして工作物を保持した例（一般技能者）



図 8 - 15 肘を伸ばして工作物を保持した例（一般技能者）

5 . 伸ばし加工

伸ばし加工の項目で分析するのは、伸ばし加工の基本、作業の要点と割れについてである。

(1) 伸ばし加工の基本

伸ばし加工におけるハンマと金属などの基本的な動きについて、アーチ部の加工の際にゴム板を使って作業したときの様子を模式的に示したものが、図8 - 16である。

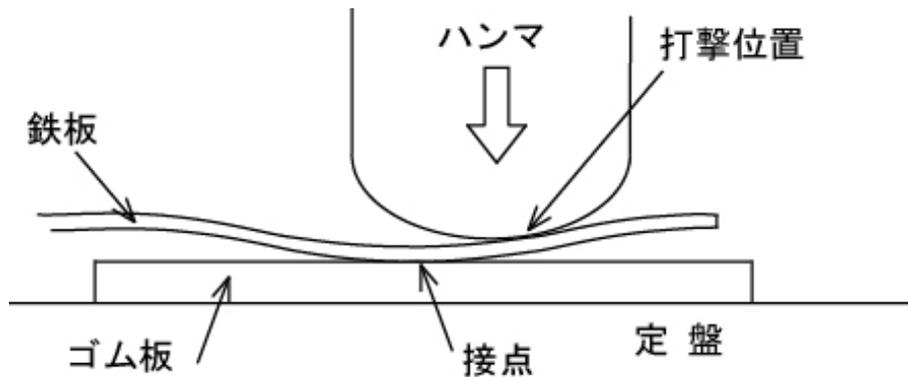


図8 - 16 伸ばし加工の基本（横から見た図）

定盤の上に貼ったゴム板に鉄板を当てて、その接点から数ミリ浮いている位置をハンマで打撃すると、ゴム板がハンマの打撃力で沈み込み、これに伴って鉄板を変形させる力が発生し、打撃部分を中心に金属の伸びと縮みの変形が同時に起きようとする。

この時、打撃位置の近くに開放端があると、開放端に沿った方向に金属を伸ばし、これと直交する方向には縮ませる力が発生するが、鉄板の中心に近い方は周囲が金属で拘束されているために変形せず、開放端側だけが縮むことになる。

この動きを模式的に表したものが図8 - 17である。

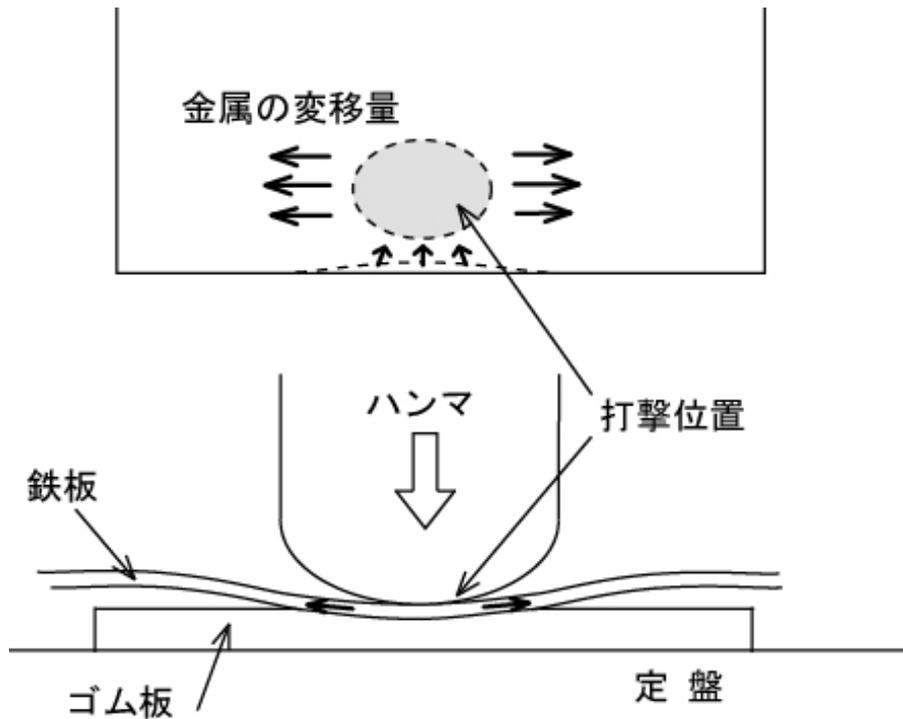


図8 - 17 伸ばし加工の基本 (正面から見た図)

(2) 作業の要点

伸ばし加工における作業の要点は以下の3点である。

- a . 伸ばした量だけ曲げる (倒す) こと
- b . 伸ばしの基準となる部分を常時維持すること
- c . 加工開始線の位置を正確に保つ

aの要点は、ハンマの打撃により金属が伸びるので、そのままでは収まらなくなりひずみが発生してしまう。そのため、伸びた量を吸収する分だけ伸ばしと同時に曲げる (倒す) 必要がある。ただし、曲げすぎると反対方向にひずみを与えてしまうので、伸ばした量だけ正確に曲げられるかどうかは成形技術力としてのポイントとなる。

bの要点は、伸ばし加工で使用するゲージは、伸ばし加工でひずみが出る隣接部分を基準と使用するので、この基準となる部分の変形を抑えないと、ゲージで何を計測しているのか分からなくなってしまうということである。

図8 - 18は、アーチ部を伸ばし加工する際に内Rゲージを使ってR形状の計測をしている例であるが、内Rゲージを当てる基準面は、アーチ部に隣接する平面部分である。しかし、この伸ばし加工でひずみが発生しやすいのはこの平面部分であるため、ひずみが発生したままゲージを当てたのでは、ゲージが傾いてしまい、正しい計測はできていないことになる。したがって、基準となる部分にひずみが生じないよう

に注意し、ひずみが発生しているかどうか適宜計測し、必要に応じて修正していけるかどうかを観察分析力としてのポイントとなる。

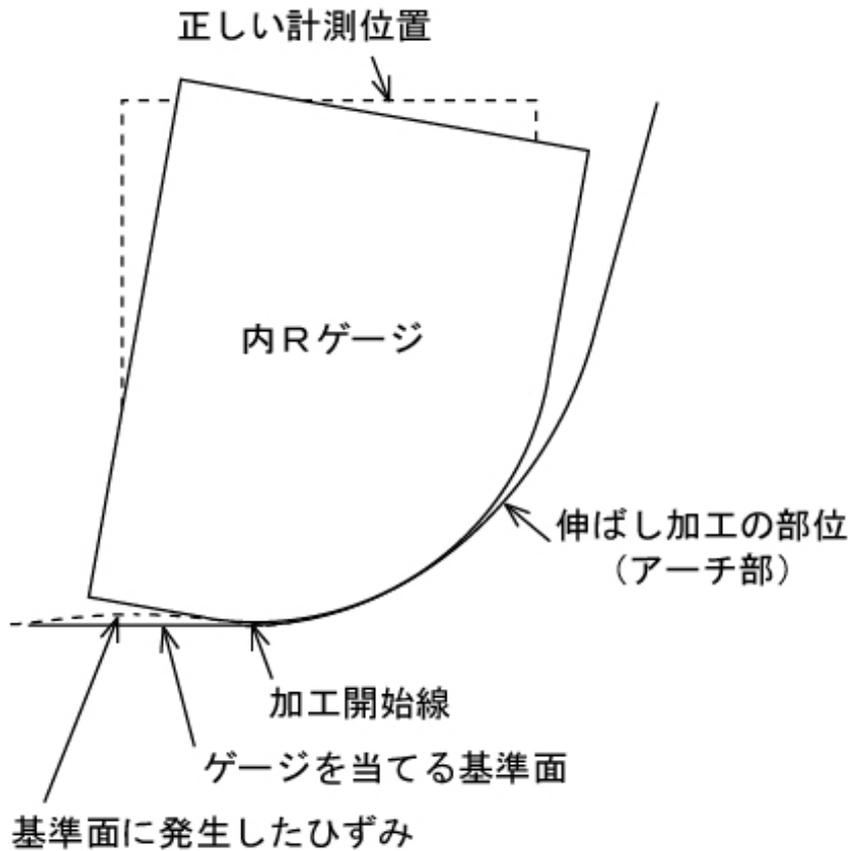


図8 - 18 伸ばしの要点 (基準面の維持)

もし可能であれば、あらかじめ予想されるひずみに対してこれを打ち消す方向の変形を最初にオフセットしておくことができれば、判断対策力としてのポイントとなる。(今回の課題における実例を絞りの項目で取り上げる)

cの要点は、図8 - 18にある平面部からアーチ部のRが始まる加工開始線の位置を正確に保つことである。この位置が正確でないと、加工が進んでいったときの加工寸法の精度が悪くなり、かつ加工が進んでから加工開始線の修正をおこなうと広範囲にひずみが発生しやすく、工作物全体をひずませてしまう危険性がある。

(3) 割れについて

伸ばし加工における最大の問題は割れの防止である。伸ばしの割れは加工量が多い場合に金属の加工硬化に伴い生じるものである。この割れを事前に察知するための要点は以下のとおりである。

- a．ハンマで叩いている右手の感触で材料が急に伸びた感触を得たらやめること
- b．金属表面の光沢等が変化したらやめること

今回の課題では、伸ばし加工の量がそれほど大きくなかったために、割れが発生する危険性は低かった。課題では高さ20ミリのアーチ部形状を70ミリにした類似形状で、割れが発生する直前まで伸ばし加工をした例を図8 - 19に（割れが発生する危険性が高い部分を矢印で示している）、実際に割れた様子を図8 - 20に示す。

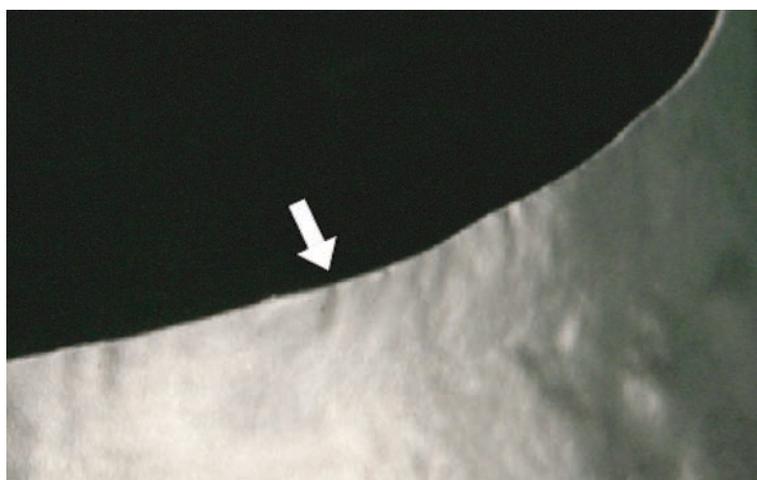


図8 - 19 伸ばしの割れが発生しやすい状態



図8 - 20 伸ばしの割れ

6 . 絞り加工

絞り加工の項目で分析するのは、絞り加工の基本、作業の要点、アイカメラによる分析、複合加工についてとしわと割れについてである。

(1) 絞り加工の基本

絞り加工におけるハンマと金属などの基本的な動きについて、R 550～R 55部の加工の際にぼうず床を使って作業したときの様子を模式的に示したものが、図8 - 21である。

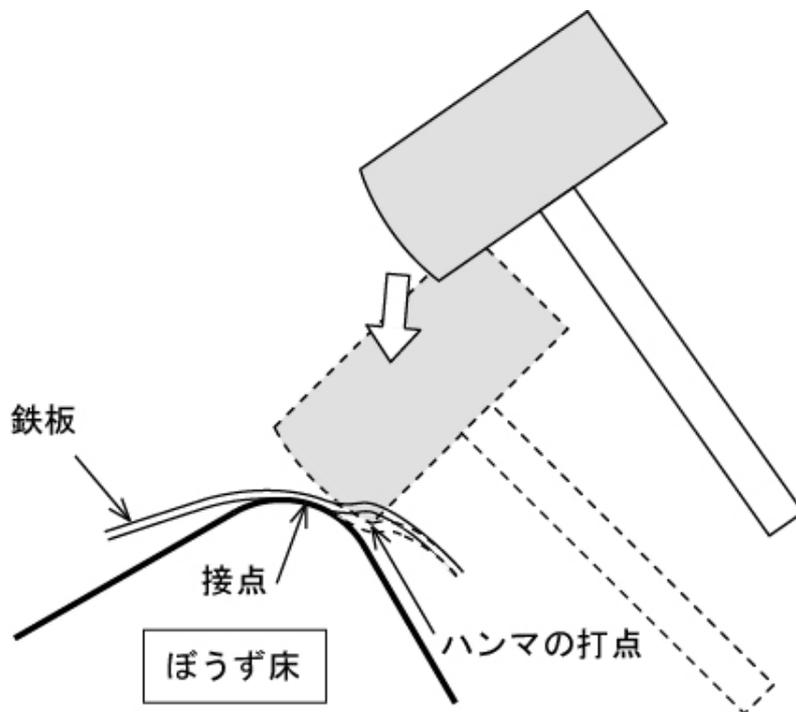


図8 - 21 絞り加工の基本（横から見た図）

平面の状態から絞ることはできないので、まず加工する箇所を凸形状に変形させてから、ぼうず床（または木製当盤）に鉄板を当てて、その接点から数ミリずれた凸形状の裾野でぼうず床から少し浮いている位置をハンマの角で打撃すると、凸形状がハンマで潰れる際に、打撃位置を中心に金属の伸びと縮みの変形が同時に起きようとする。この時、打撃位置の近くに開放端があると、開放端に向かった方向に金属を伸ばす力が発生するが、それ以外の方向は周りが金属で拘束されているために変形せず、結果的に凸形状が開放端側に移動するように絞られていく。

この動きを模式的に表したものが図 8 - 22であり、今回の課題で R 550の絞りはじめの準備として開放端を連続した凸形状（波形状）に加工した様子を図 8 - 23に示す。

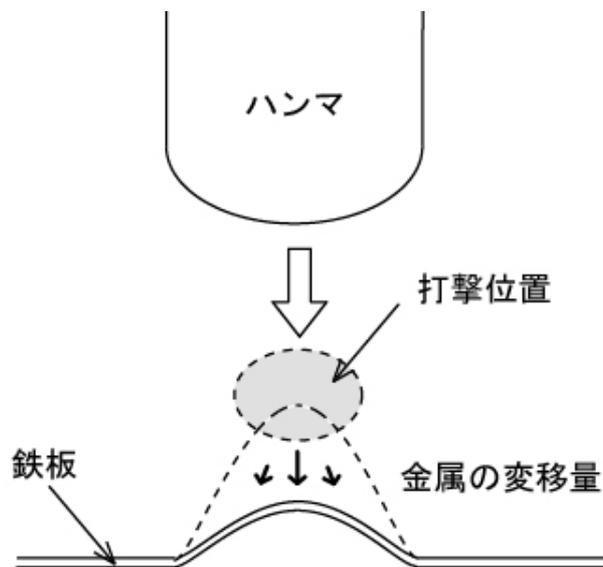


図 8 - 22 絞り加工の基本（正面から見た図）



図 8 - 23 絞り加工開始時の準備作業

(2) 作業の要点

絞り加工における作業の要点は、伸ばしの加工と同じ以下の3点である。

- a . 絞った量だけ曲げる（倒す）こと
- b . 絞りの基準となる部分を常時維持すること
- c . 加工開始線の位置を正確に保つ

aの要点は、ハンマの打撃により金属が縮むので、そのままでは周囲を引っ張ってひずみが発生してしまう。そのため、縮めた量を吸収する分だけ絞りと同時に曲げる（倒す）必要がある。ただし、曲げすぎると逆にひずみが増してしまうので、絞った量だけ正確に曲げられるかどうか成形技術力としてのポイントとなる。

bの要点は、絞り加工で使用するゲージは、絞り加工でひずみが出る隣接部分を基準と使用するので、この基準となる部分の変形を抑えないと、ゲージで何を計測しているのか分からなくなってしまうということである。

図8-24は、R550部を絞り加工する際に外Rゲージを使ってR形状の計測をしている例であるが、外Rゲージを当てる基準面は、R550部に隣接する平面部分である。しかし、この絞り加工でひずみが発生しやすいのはこの平面部分であるため、ひずみが発生したままゲージを当てたのでは、ゲージが傾いてしまい、正しい計測はできていないことになる。したがって、基準となる部分にひずみが生じないように注意し、ひずみが発生しているかどうか適宜計測し、必要に応じて修正していけるかどうか観察分析力としてのポイントとなる。

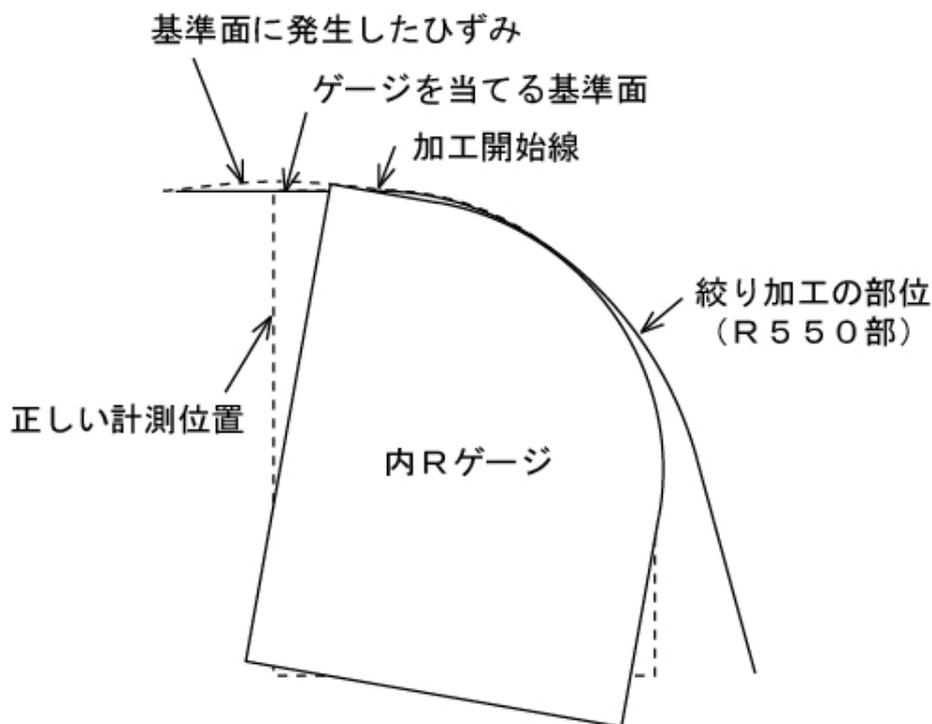


図8-24 絞り加工の要点（基準面の維持）

あらかじめ可能であれば、予想されるひずみに対してこれを打ち消す方向の変形を最初にオフセットしておくことができれば、判断対策力としてのポイントとなる。

今回の課題では、絞り加工により隣接する平面部分が引っ張られてひずみやすくなるため、隣接部分との間にビードと呼ばれるあらかじめ若干伸ばした加工をおこなった。(図8 - 25)



図8 - 25 ビードの形成

cの要点は、図8 - 24にある平面部からR 550部のRが始まる加工開始線の位置を正確に保つことである。この位置が正確でないと、加工が進んでいったときの加工寸法の精度が悪くなり、かつ加工が進んでから加工開始線の修正をおこなうと広範囲にひずみが発生しやすく、工作物全体をひずませてしまう危険性がある。

(3) アイカメラによる分析

高度熟練技能者と一般技能者にアイカメラを装着してもらい、R 55部分の加工をおこなう際の注視点の分析をおこなった。

高度熟練技能者のアイカメラが撮影した画像を図8 - 26に、一般技能者の画像を図8 - 27に示す。図の中で「 」と「 + 」は左右の目の注視点である。

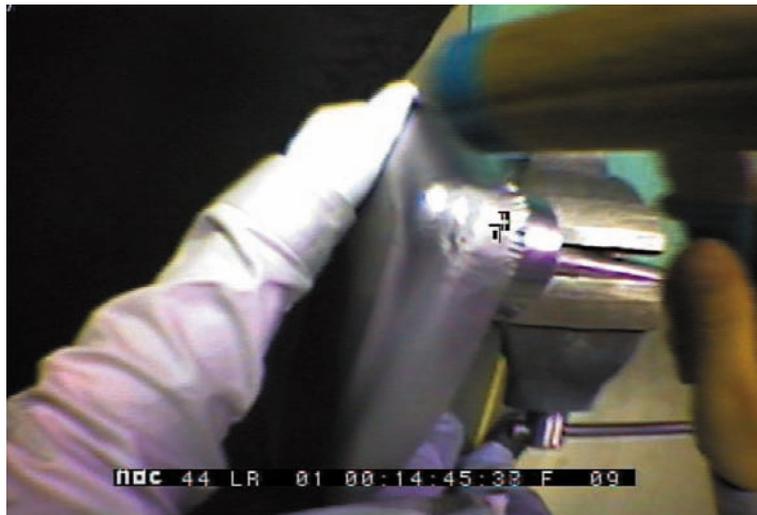


図8 - 26 アイカメラ画像（高度熟練技能者；R 55絞り加工）



図8 - 27 アイカメラ画像（一般技能者；R 55絞り加工）

高度熟練技能者の注視点は、R 55の絞り加工の部位にあり、ハンマの打撃点を見ていないことが分かる。絞り加工の進行に伴ってハンマの打撃位置が加工の部位の周りで移動していても、高度熟練技能者の注視点は、絞り加工の部位からは外れなかった。これは加工部位の変形具合を常に確認している観察分析力と、正確なハンマ操作が可能な成形技術力におけるポイントと考えられる。

一方、一般技能者の注視点は、ハンマやハンマの打撃位置にあり、ハンマの打撃位置が絞り加工の部位の周りで移動していくに従い、注視点も移動していった。

(4) 工作物の動作分析

加工時のハンマの動きについての動作分析は第8章4.1項でおこなったが、ここでは工作物の動きに着目して、R55部の絞り加工を分析対象として動作分析をおこなった。

図8-28に示すように、工作物を開放端に沿って動かす長手方向をZ軸方向、工作物の中心から開放端側に動かす方向をX軸方向と定義して、工作物の動きを動作分析した結果を、図8-29(Z軸方向)、図8-30(X軸方向)に示す。

分析結果によれば、R55の絞り加工をおこなう際に、工作物は開放端に沿って緩やかに行ったり来たりしながら(図8-29において5秒で1往復するゆるやかな波を描いていることがわかる)その間に工作物の中心から外側に向けた方向で前後に小刻みに動かされていることが分かる。

このX軸方向の動きは多少の乱れはあるものの、徐々に工作物の中心から外側に移動している(X軸の+方向に移動している)ことから、R55を加工する際に凸形状を端面側に追い込むようにして加工しているが、この時、凸形状の円周に沿って1回ずつ加工するのではなくジグザグの動きで加工していることが分かる。



図8-28 動作分析の軸方向の定義

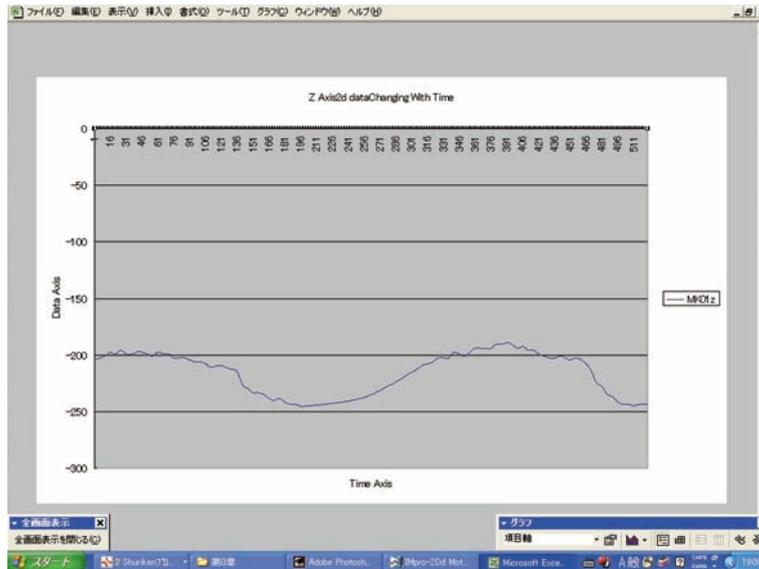


図 8 - 29 工作物の動作分析 (Z 軸方向)

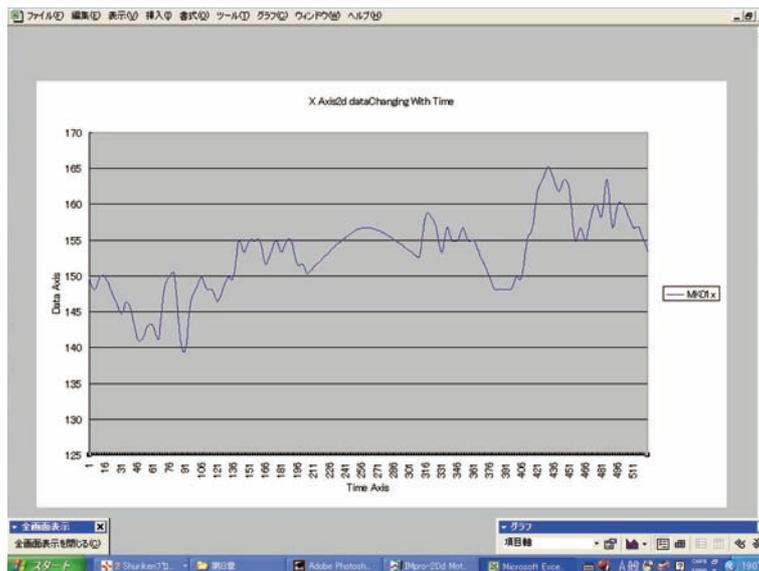


図 8 - 30 工作物の動作分析 (X 軸方向)

(5) 複合加工について

複合形状を加工する際の要点について、今回の課題では、絞り加工の R 550 ~ R 55 部とその両側の直線部分を対象に分析する。

複合形状を加工する際の要点は、複合形状を個々の形状に分けて、かつ隣接する形状にひずみをできるだけ生じないような加工法を取ることである。

ひずみを隣接する部位に伝えないようにする簡単な方法は、隣接する部位との間にゆるい折れを設定することである。この折れによりひずみが吸収されることで隣接部位はひずまないようになる。

絞り加工の R 550 ~ R 55 部とその両側の直線部分を対象に、ひずみを隣接する加工部位に伝えないように折れを入れた様子を図 8 - 31 に示す。



図 8 - 31 ひずみの影響を抑える折れの例

(6) しわと割れについて

絞り加工における最大の問題はしわの発生と割れの防止である。絞り加工では、作爲的に凸形状を形成していくため、これがしわになりやすく、このしわの処理を誤るとしわに沿って割れを発生させてしまう。絞り加工をおこなっている最中から絞り加工終了時まで、開放端は加工効率を考えてまっすぐにせず波形状のまま残しているが（この部分は、最終的には余肉として切り落とされてしまうため問題ない）、極端な形状、特に巻き込むようなしわにしてしまうと割れやすく危険である。

絞り加工の終了間際の開放端の大きな波形状の様子を図8 - 32に、今回の課題と類似の形状のテストピースを用いてしわとしわの間に割れが生じた例を図8 - 33に示す。



図8 - 32 開放端の大きな波形状



図8 - 33 絞り加工で生じた割れ

7. フランジ加工

フランジ加工の項目で分析するのは、フランジ加工の基本と作業の要点1～3である。

(1) フランジ加工の基本

フランジ加工における作業の要点は、以下の3点である。

- a. 伸ばした量または絞った量だけ曲げる（倒す）こと
- b. 隣接部へのひずみをできるだけ予測して可能ならばコントロールすること
- c. フランジの折れ線位置はならし作業時に最終調整すること
- d. フランジの全体に渡ってムラが生じないようにすること

aの要点は、フランジ加工では必ず伸ばしか絞りの加工を伴うために、これらの加工における要点aと同じことが言えるものである。

bの要点も、伸ばし加工や絞り加工における要点と同じであるが、次の(2)(3)項の作業の要点で具体的な事例の分析をおこなう。

cの要点は、フランジの折れ線の位置を早めに確定した場合、ならしによるひずみ分を修正できなくなるため、ならし作業と合わせて確定するものである。ただし、フランジの折れ線を確定する作業も微妙なひずみを生むため、相互に修正しながら加工する必要がある。

dの要点は、単純な円形フランジの場合には当然とも思えるが、複合形状や開放端がある場合には避けて通れないポイントであり、次の(3)(4)項の作業の要点で具体的な事例の分析をおこなう。

(2) 作業の要点1（伸ばし 絞りへの連続加工）

フランジ加工が伸ばし加工または絞り加工を伴うことは前述したとおりだが、ほとんどの場合、フランジ加工する前の加工はフランジ加工と反対の絞りもしくは伸ばし加工である。今回の課題ではR550～R55の絞り加工の次の本体フランジ加工は伸ばし加工であるし、アーチ部の伸ばし加工の次のフランジ加工は絞り加工である。

反対方向の加工が連続することによる影響は次の2点である。

- a. 完全に伸ばしてから反対に絞るのでは加工効率が悪い（絞ってから伸ばす場合も同様）
- b. 後の工程によるひずみが前の工程の変形方向を促進させる方向に作用する

aの要点は、伸ばしたものを絞り直すことで加工効率が悪いだけでなく、金属材料の疲労の面でも避けるべきポイントである。これを解決する方法としては、二つの加

工を同時におこなう方法があるが、正確な形状を出すことが難しくなるため、形状の修正に時間を要し、加工時間が短縮できないこともありえる。

もう一つの解決策は、bの要点を利用した方法で、図8-34に示すアーチ部に続いてフランジ加工する例で説明する。

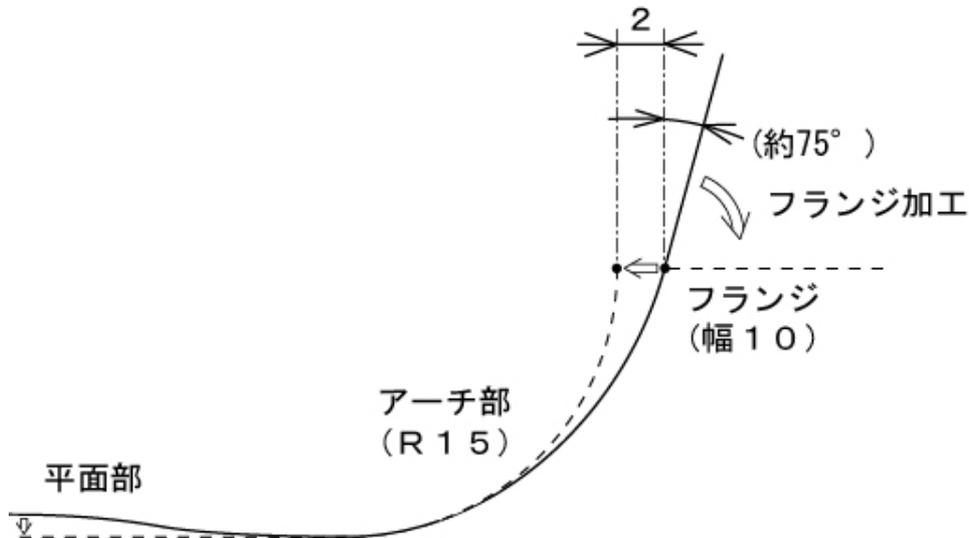


図8-34 伸ばしから絞りへの連続加工

アーチ部の伸ばし加工をする際には、完全に90度まで立った最終形状まで加工するのではなく、約75度まで加工した段階で、次のフランジ加工に移る。フランジの絞り加工をおこなうと、フランジの折れ線の位置が図の左側、すなわちアーチ部が立つ方向に若干変形するため、正規の形状まで加工していた場合にはアーチ部の修正が必要になり、この修正は技術的に難しい。

そこで、フランジ加工の絞り量と倒し量の関係を調整することで（絞り量よりも倒し量を若干大きくする）アーチ部を意図的に立たせて最終形状に追い込むという、高度な技法を使っている。このフランジ加工で発生させる変形量はフランジの幅などによって決まるため、今回の課題では2ミリの変形を発生させるものと考え、結果としてフランジ加工に移る前のアーチ部の立ち上がり角度が約75度になったものである。（この技法は一般技能者もおこなっている）

ただし、上記加工法ではフランジ加工において意図的に変形を与えているため、折れ線の位置が移動するだけでなく、アーチ部に隣接する平面部分にもへこむ方向の変形が発生する。従って、アーチ部の加工の際に、伸ばす量と起こす量の関係を調整することで（伸ばす量よりも起こす量を若干小さくする）あらかじめ平面部のへこむ量に見合った分だけ膨らませておき、フランジ加工後に平面が確保されるように、併せて調整する必要がある。

こうした方法を取れば、できるだけ加工量を少なくしながら、かつひずみを積極的に抑えることが可能になり、判断対策力としての技能上のポイントとなる。

(3) 作業の要点2 (複合形状のねじれ)

今回の課題における本体フランジは直線 - R 550 - R 55 - 直線と連続した複合形状であるため、図8 - 35に示すように、フランジ加工により反時計回りの方向のねじれによるひずみが生じる可能性がある。

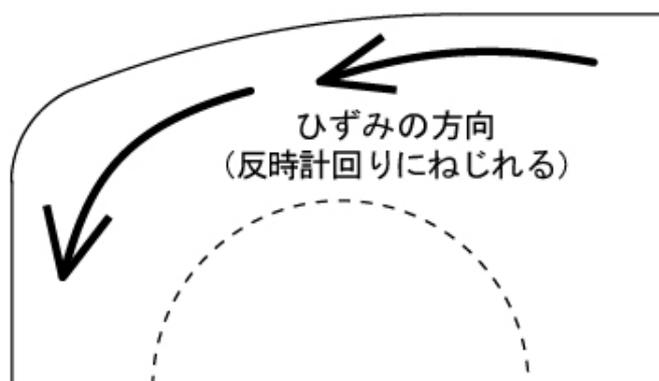


図8 - 35 本体フランジのねじれ

このねじれを把握するため、高度熟練技能者はR 550～R 55形状用の内輪郭ゲージを使用する際に、ゲージを当てる位置を油性ペンでマーキングした。マーキングなしにゲージを使用した場合、ねじれ方によってはゲージを当てる位置が変形していたにもかかわらず見かけ上輪郭が維持される場合があるため、これを防ぐためにマーキングしたものである。

(4) 作業の要点3 (開放端がある場合のムラの防止)

今回の課題におけるアーチ部フランジは半円状であり、開放端を持っている。こうした開放端では絞り加工に必要な周辺部の拘束がないために、絞りの変形量が極めて少なくなり（伸ばし加工でも同様）、何らかの対策を取る必要がある。

図8-36に示す模式図で、左右下側の「変形しにくい部分」としてあるフランジの端では、開放端側に逃げが生じて変形が進まず、そのためフランジの口が開くようになってしまう。

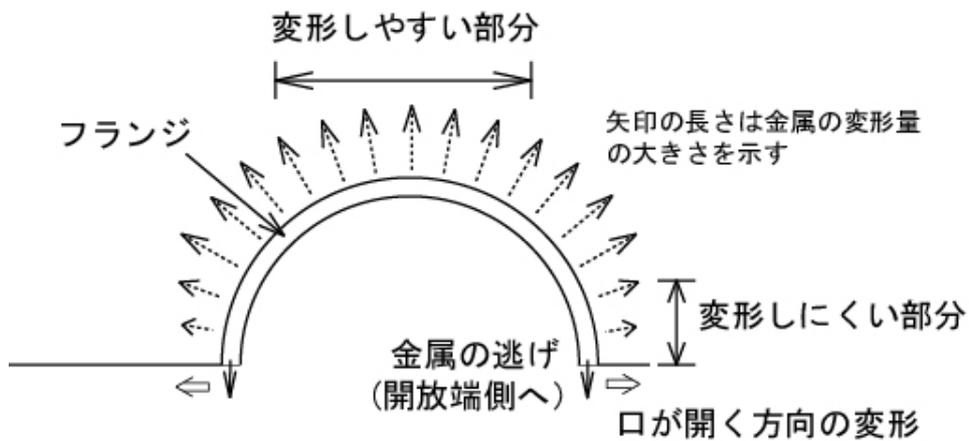


図8-36 開放端を持つフランジのムラ

この問題に対処するため、実際の加工では開放端側に30ミリの余肉を設けて、フランジ最端部の位置が加工により変形するようにした。余肉部の先端では図8-36の現象が生じて、正確な形状は得られないが、この部分は切り落とすので問題なくなる。

8. ならし

ならしの項目で分析するのは、ハンマ操作（打撃位置）の分析、アイカメラによる分析とハンマ打撃音の分析についてである。

(1) ハンマ操作（打撃位置）の分析

R 550部のならし作業におけるハンマと工作物の基本的な動きについて、動作分析をおこなった。この時の Marker と軸方向の設定条件を示したものが、図 8 - 37である。

Marker 1、2 ハンマ打撃面の角

Marker 3 ハンマ上面の角

Marker 4 工作物のならし範囲を示すマーキング線



図 8 - 37 動作分析の設定条件

実際に高度熟練技能者が R 550部のならし作業を 4 秒間、18回のハンマ打撃操作した分について動作解析した結果から、軌跡表示したものを図 8 - 38に示す。

ハンマの打撃操作は一定の振幅を保って安定しており、工作物は、こまのつめの表面に沿って滑らかに移動していることがわかる。この動きを更に詳しく分析するため、各計測点（Marker 1 ~ 4）の座標値をグラフ化する。図 8 - 39が X 軸方向のグラフ、図 8 - 40が Z 軸方向のグラフである。



図 8 - 38 ならしのハンマ軌跡

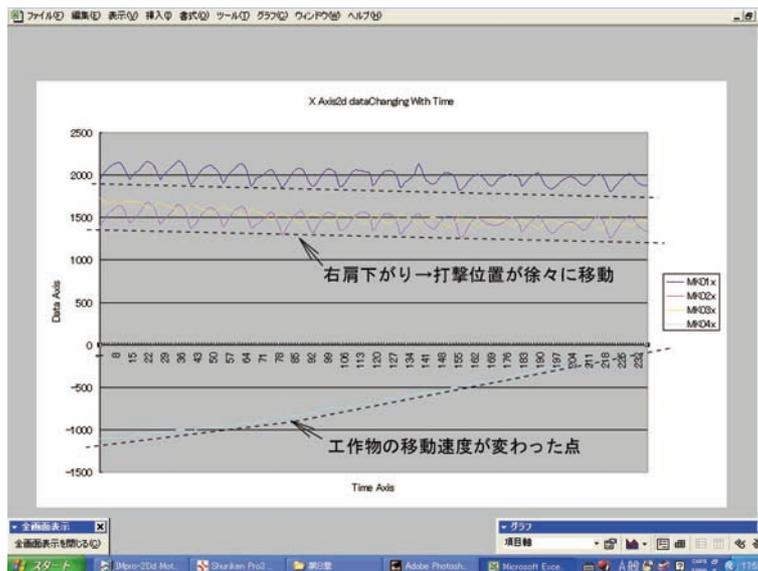


図 8 - 39 ならし X 軸方向解析グラフ

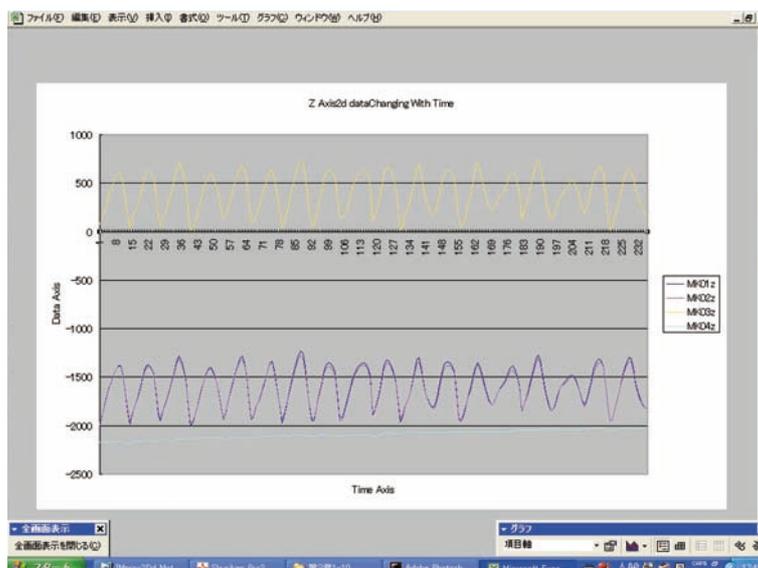


図 8 - 40 ならし Z 軸方向解析グラフ

X 軸方向の解析グラフからは、ハンマ操作が非常に安定した動きで、徐々に手前のほうに移動していることが分かる。工作物の移動速度も、加工途中で一度変化しているものの一定の速度を保ち安定している。

Z 軸方向の解析グラフからは、Marker 1 と Marker 2 のグラフがほぼ完全に重なっており、ハンマの打撃面が水平に動いていることが分かる。

ハンマの振幅（特に下端）がそろっていない点については、今回の動作分析の計測周波数が 60 Hz であったため、1 秒間に 4.5 回打撃するならし作業の分析用としてはサンプリング周波数が足りず、その動きに完全に追従できなかったためと考えられる。

(2) アイカメラによる分析

高度熟練技能者と一般技能者にアイカメラを装着してもらい、絞り加工と同様に、R 550部のならし作業をおこなう際の注視点の分析をおこなった。

高度熟練技能者のアイカメラが撮影した画像を図8 - 41に、一般技能者の画像を図8 - 42に示す。

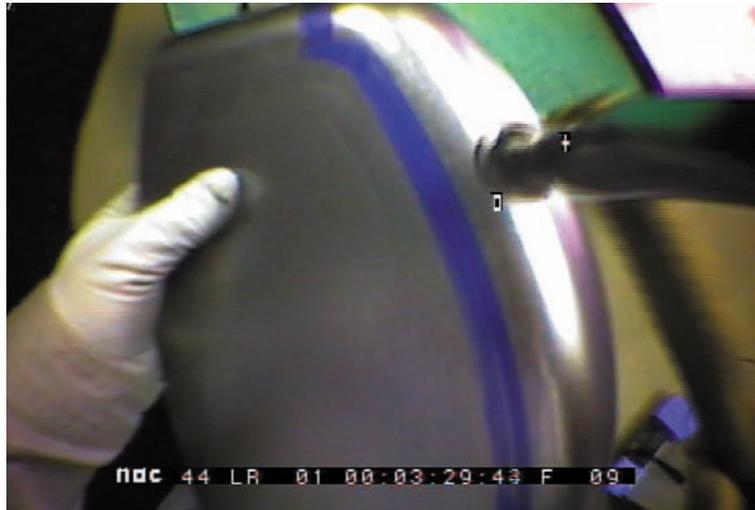


図8 - 41 アイカメラ画像（高度熟練技能者；ならし）



図8 - 42 アイカメラ画像（一般技能者；ならし）

高度熟練技能者と一般技能者で注視点について大きな差は見られなかった。ただし、高度熟練技能者の画像は作業中のブレがほとんどなく、加工姿勢（特に頭）の安定度が高いことが分かった。

アイカメラ装置の大きさが原因で、ならしハンマを振り上げた位置でアイカメラに接触しそうになるという問題があり、一般技能者は通常よりも上目使いになったようであるが、測定結果に大きな影響は出ていないと考える。

(3) ハンマ打撃音の分析

自動車板金加工におけるハンマの打撃音の分析については、ならし以外の加工法では正確な位置に打撃する場合とずれた場合の違いが分からなかった。これは、伸ばし加工と絞り加工の基本で述べたように、工作物をぼうず床や木製当盤に接触している場所からわざとずらして打撃するため、ずらした量の大小が打撃音にあまり影響を与えないためと考えられる。

ならしでは、工作物裏側がこまのつめに接している箇所を正確に打撃するため、正確な位置に打撃した場合とずれた場合の違いが打撃音にはっきりと表れた。正確な位置に打撃した場合には高く澄んだ金属音がするが、ずらした位置に打撃した場合は濁った空き缶を叩いたような割れた音がする。

この打撃音の違いを数値化して、図8-43に正確な位置の場合を、図8-44にずれた場合を示す。

正確な位置の打撃音の周波数分析結果では、1番目の主要周波数は2.8 KHzを中心とした2.5~3 KHzにあり、2番目の主要周波数は4.5 KHz付近にある。2~6 KHzの周波数成分が大部分を占めており、2 KHz以下の周波数成分が弱いことから、「高く澄んだ金属音」と聞こえた結果が、数値的にも確認できる。

正確な位置からずれて叩いた場合の打撃音の周波数分析結果では、1番目の主要周波数は500 Hzと低周波域にあり、2番目の主要周波数は2.3 KHzにあるが強度はあまり強くない。低周波成分が強く、3 KHz以上の周波数成分は弱く「濁った空き缶を叩いたような割れた音」と聞こえた結果が、こちらも数値的にも確認できる。

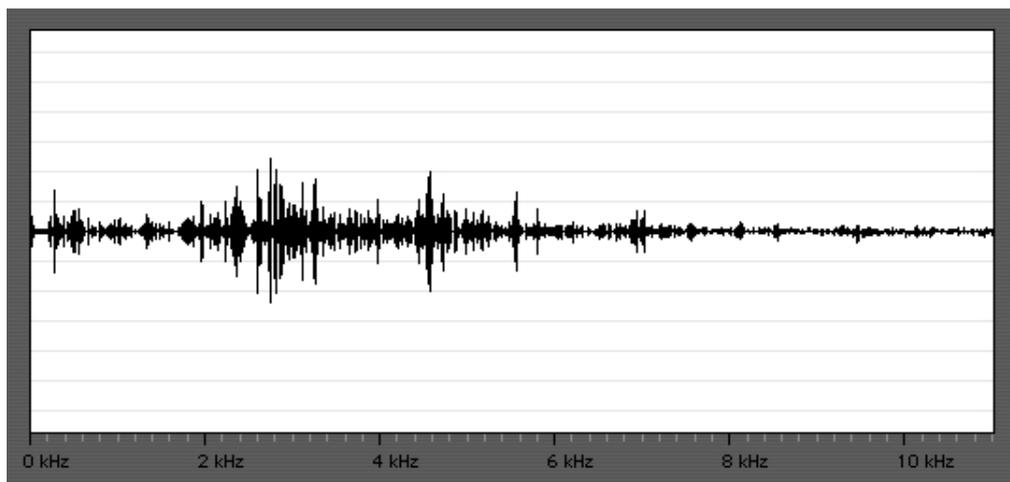


図8-43 ハンマ打撃音（正確な位置の場合）

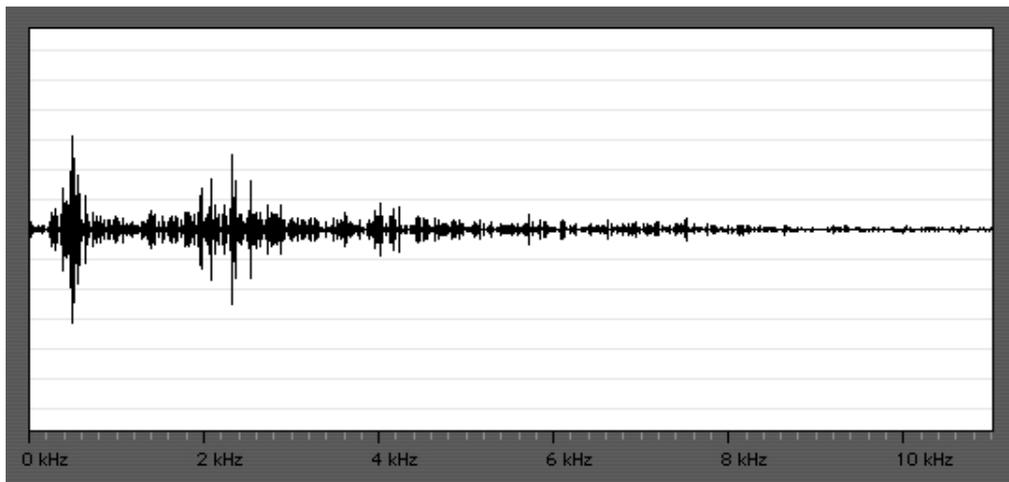


図8 - 44 ハンマ打撃音(ずれた位置の場合)

またその時の打痕を比較したものを図8 - 45に示す。上段が正確な位置を叩いた場合の打痕で、輪郭がはっきりしており、きちんと加工されていることが分かる。下段はわざとずれたままならしをした場合の打痕で、輪郭がぼやけており十分に加工されていないことが分かる。



図8 - 45 ハンマ打痕の比較

9 . ゲージ

ゲージの項目で分析するのは、作成したゲージの比較、測定回数の比較とゲージ利用の考え方についてである。

(1) 作成したゲージの比較

今回の課題の製作にあたり、高度熟練技能者と一般技能者が作製したゲージをそれぞれ図 8 - 46と図 8 - 47に示す。



図 8 - 46 作製したゲージ（高度熟練技能者）



図 8 - 47 作製したゲージ（一般技能者）

作製したゲージの数は両者とも6点であったが、大きな違いが2点あった。

- a . R 100の外 R ゲージが、高度熟練技能者は1 / 4 円で、一般技能者は半円
- b . R 100の内 R ゲージを、高度熟練技能者は作製したが、一般技能者はなし

a の違いについては、図 8 - 48 を使って説明する。

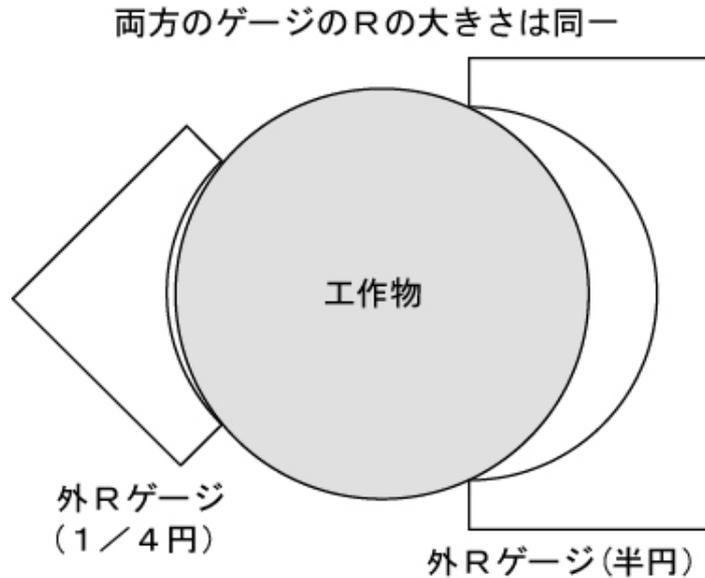


図 8 - 48 ゲージの違い

図の1 / 4 円の外 R ゲージも半円の外 R ゲージも同じ R のゲージであるが、加工途中で工作物の寸法がまだ若干大きい時点で計測しようとした場合、1 / 4 円の外 R ゲージでは計測できるが、半円の外 R ゲージではゲージが浮いてしまうために計測にならない。

今回の課題では、R 100の外 R ゲージはアーチ部の伸ばし加工で使用するため、R 寸法が大きいほうから小さくなる方向に変化する過程が考えられ、この時に半円のゲージでは不適切と考えられる。これは、b の違いの R 100の内 R ゲージを一般技能者が用意しなかった点と同じ、加工手順を完全に理解できていなかったことから生じたミスである。

(2) ゲージ計測回数の比較

高度熟練技能者と一般技能者のゲージ計測回数を、R 550～R 55の絞り加工の工程でカウントして分析した。表 8 - 49は高度熟練技能者の分析結果、表 8 - 50は一般技能者の分析結果である。

図表 8 - 49 ゲージ計測回数（高度熟練技能者）

	粗加工	仕上げ	小計	ならし修正	合計
内 R ゲージ	(11)	(91)	102	47	149
外 R ゲージ			0	8	8
内輪郭ゲージ		(42)	42	20	62
外輪郭ゲージ		(3)	3	12	15
曲尺(直定規)			0	5	5
定盤で平面度	(3)	(12)	15	2	17
垂直定規		(16)	16	15	31
合計	(14)	(164)	178	109	287
作業時間(分)			55	56	111

図表 8 - 50 ゲージ計測回数（一般技能者）

	粗加工	仕上げ	小計	ならし修正	合計
内 R ゲージ	(43)	(23)	66	17	83
外 R ゲージ		(2)	2	1	3
内輪郭ゲージ		(10)	10	9	19
外輪郭ゲージ		(12)	12	30	42
曲尺(直定規)	(5)	(3)	8	5	13
定盤で平面度	(3)	(5)	8	0	8
垂直定規			0	8	8
合計	(51)	(55)	106	70	176
作業時間(分)			141	56	197

第 8 章 4 . 2 項の打撃回数の分析と同様に、粗加工終了時は高度熟練技能者と一般技能者各々の自己申告によるものであるため、粗加工終了時の進捗状況は両者で大きく違っていた。このため、粗加工と仕上げの各工程の数字は分析対象としては不適切と考え、ならし前までの小計で分析をおこなった。また、作業時間は表 7 - 1 と表 7 - 98から求めたものである。

上記の分析結果から、高度熟練技能者のゲージ計測回数は、粗加工から仕上げ加工までの工程とならしと仕上げの工程の両方で、一般技能者の1.6倍と多かった。粗加工から仕上げまでの作業時間と前述のハンマ打撃回数の分析結果と合わせると、高度熟練技能者がゲージの計測回数を頻繁におこなっていることが分かる。

ゲージの種類ごとに細かく分析すると、加工途中の形状確認で使用する内Rゲージと内輪郭ゲージを、高度熟練技能者は非常に頻繁に（特にならし・修正工程で）使っていることがわかる。これは、ならしを3段階に分けてその都度確認・修正作業を実施していたためと考えられる。

一方、最終的な形状確認に使用する外Rゲージと外輪郭ゲージの利用回数は、高度熟練技能者は少なく、一般技能者は多い（特に外輪郭ゲージ）ことが分かる。これは、高度熟練技能者は、最終確認までの手順で正確に形状が仕上がっているため、最後に予定外の修正が生じるといったことがないためと考えられる。

なお、定盤上での平面度の確認が一般技能者のならし・修正工程で1回もなかった点については、加工途中で平面部に修正の難しいひずみが生じてしまったため、あえて計測しなかったことによるものと考えられる。

(3) ゲージ利用の考え方

ゲージ利用の際の考え方の要点は、これまで他の項目で説明してきた事項も含めてまとめると以下のとおりである。

- a．必要なゲージを全て準備する
- b．必要に応じて、加工途中の理想形状用のゲージを作製する
- c．ゲージでは形状と位置の両方を確認する
- d．ゲージを当てる基準面を確保する
- e．ゲージの形状を確認する

aの要点は、ごく当たり前のことであるが、大切なことである。ゲージを利用せずに一般的な計測器で済ませるのか、その辺の判断対策力としてのポイントである。

bの要点は、ゲージの作製対象は最終形状だけではないということである。今回の課題ではアーチ部の伸ばし加工の終了段階の理想形状は、直角に対して2ミリ足りない約75度であった。（第8章7.2項参照）このため、高度熟練技能者も一般技能者もこの理想形状に対応する内Rゲージを作成した。

なお、この内Rゲージは、高度熟練技能者の一般技能者もフランジ加工に進んだ段階で、約75度の部分を最終形状の直角になるように切断して、二次利用された。（最終形状のゲージを別途作成するよりも加工効率が良くなり、また二個のゲージの寸法

誤差を考慮しなくてすむ)

cの要点は、ゲージの計測対象は形状と加工開始線位置の両方を確認するものであるということである。上記のアーチ部の内Rゲージでは、R形状と同時にRの開始位置を図る目的があり、高度熟練技能者はゲージのR開始位置に切り込みを入れて目印としていた。

R550～R55の内輪郭ゲージをあてる位置を高度熟練技能者がマーキングしたのも、同じ観点である。(第8章7.3項参照)

dの要点は、伸ばしと絞りの考察で述べたように、基準面がひずんでいては何を計測しているのか分からなくなってしまうということである。第8章2.3項の詳細な加工段取りの例からも分かるように、高度熟練技能者は加工をするときまず基準面を確認し、それからゲージを使って計測という手順を守っていた。

ひとつの基準面から別の基準面を作っていた場合には、その手順に沿って確認・修正をおこなう必要がある。

eの要点は、切断の要点で述べたように、ゲージの直線部分を定盤で確認したり、内輪郭ゲージと外輪郭ゲージといったようにペアでゲージを作成した場合には、ゲージ同士を合わせて形状の相互確認をおこなうものである。(板厚がある分一致はしない)

10. 溶接

溶接の項目で分析するのは、溶接の要点と溶接時のひずみ抑制についてである。

(1) 溶接の要点

溶接における要点は、以下のとおりである。

- a . 可能な限り溶接時間を短くする
- b . そのためには炎の調整を正しくとおこなう
- c . 仮組み段階で正確に組み付ける
- d . 仮付け溶接後の修正をしっかりとこなう
- e . ひずみの抑制が可能であれば対策する

aの要点は、ごく当たり前のことであるが、高度熟練技能者と一般技能者の作業を比較すると、溶接により鉄板表面の焼けた範囲が高度熟練技能者の方が明らかに小さかった。部品単品の精度が高くても、組み合わせて溶接した際にひずみが出てしまっただけでは総合的な精度は出ないので、溶接能力の向上も、成形技術力としての大きなポイントである。

cの要点は、仮組み精度の問題であるが、その前提条件として組み合わせ部分の寸法誤差の方向性を正確に把握しておく必要がある。

今回の課題では補助材を組み付けたときに、補助材の底面が本体フランジより出てしまうと、本体フランジの精度が大きく狂うことになる。このため、補助材の部品寸法は小さくなる方向で加工しておく必要がある。寸法誤差の考え方では、マイナス方向とすることである。

dの要点は、仮付け溶接後に必ずひずみが生じているので、たとえ数箇所の仮付け溶接であっても、この段階ですでに修正しておくというものである。

eの要点は、第8章3.2項でも考察したことであるが、全体の加工工程に大きな影響を与えない形でひずみを抑制できる余肉の設定が可能であれば、これを採用することである。具体的な事例の説明は事項でおこなう。

溶接後の熱収縮によるひずみは、完全に修正することは難しいが、部品単品の加工精度が高くきちんと組み付けられている場合には、ひずみにより工作物全体がねじれるように変形する場合がある。このときのねじれる方向は、工作物を手で持ってねじろうとしたときにねじれる方向であり、従ってこのねじれは後から反対方向にねじることで修正が可能となる。

(2) 溶接時のひずみ抑制

今回の課題の溶接において、溶接によるひずみを抑制するために余肉を設定したときの考え方を、図8-51の模式図で説明する。

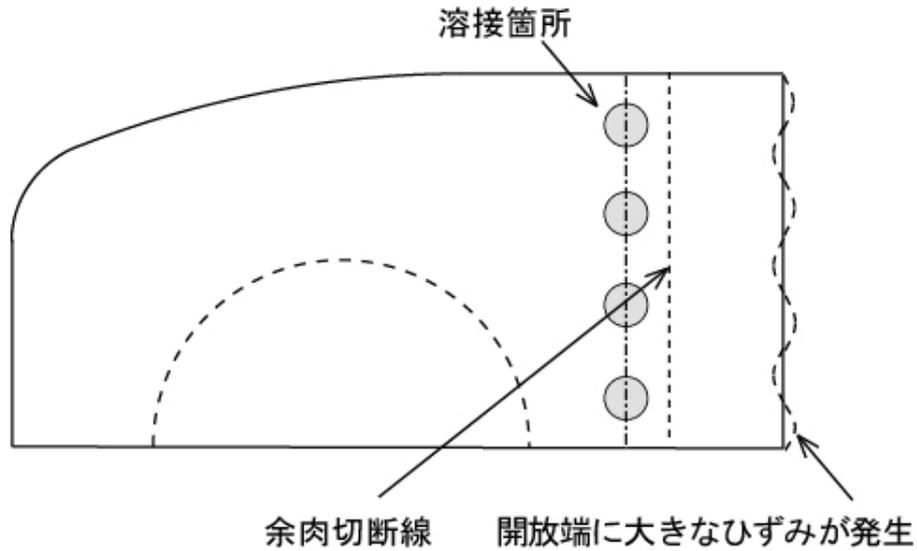


図8-51 溶接によるひずみ

図中の溶接箇所では溶接時にいったん伸びた金属は冷却時に収縮しようとして、溶接箇所では縮み、その周辺は若干盛り上げるといった挙動を示す。こうした熱変形によるひずみは開放端で顕著になる。

今回の課題では、開放端側に余肉を設けることで、顕著に伸びた開放端部分を切り落として、工作物に残るひずみを極力少なくしようとしたものである。

ひずみを抑制する基本は、ひずみやすい箇所の周りの金属の幅を広くして、できるだけ拘束力を高めてひずませないようにすることである。