最大実体公差方式 解説（後編） —機械製図のⓂは精密と無縁なのか？—

An Explanation of Maximum Material Requirement (2nd)
Is the Ⓜ of Mechanical Drawing Irrelevant to Precision Engineering?/Shinya
SUZUKI and Tadao KOIKE

長野工業高等専門学校 鈴木 伸哉, 監修 想図研 小池忠男

（先月号より、幾何公差の最大実体公差方式Ⓜをなるべく平易に解説する試みをしている。先月号では、2章でサイズ公差と幾何公差について、3章ではめあいと形状・姿勢・位置の公差について、4章の4.1節で幾何公差にⓂを指示する方法について解説してきた、本稿はその続きである。章や節、図表の番号は、先月号に続いている）

4.2 データムにⓂを指定する方法

倒れや位置のずれは、必ず何かに対しての倒れや位置のずれなので、その基準となる何かを指定する必要がある。図2(e)は、フランジ面とその相手となる面であり、図2(f)の位置のずれでは、フランジ面と部品の外周を包む円筒である。ただし、厳密には、これらはデータム形体で、データムとは、そこから導かれる仮想的・理想的な（この場合）平面や直線である。ここでは、その区別を厳密にしない。なお、データムにⓂが指定できるのは、軸、穴、キー溝のようなサイズ形体をデータムにする場合に限られる。

幾何公差に指示するⓂの意味は、「最もきつい状態」を指定することであった。これはデータムに関しても同様であり、データムを「最もきつい状態」で設定するという意味である。これだけでは理解に苦しむと思われるので、例を示す。

まず、Ⓜの指定がない場合、実際に加工されたデータム形体の大きさ（サイズ）に合わせて、データムは設定される。例えば円筒であれば、旋盤のスクロールチャックやドリルチャック、コレット、エキスパンドマンドレル、三次元測定機など、相対する二平面であればマシンバイスといったものを用いて、データム形体のサイズに合わせて調整する。

Ⓜが指定されている場合、上記と異なり、ピン、穴、溝、キーといった調整可能でないものを用いて、データムを設定する。では、このときの計測用の治工具のピンのサイズはどうすべきかといえば、穴の最もきつい状態の径に合わせるほかに良い手段がない。したがって、最も緩い状態で部品が加工された場合どうなるのかという疑問が湧く。その場合は、部品が安定して位置が決まらない、いわゆるがたが生じる。部品を計測するたびに、このがたが生じては、正確に計測することができないではないかと思う人も多いだろう。しかし、例えばデータム形体がφ1~2mmほどの穴であったら、調整可能なピンのような治工具

を製作できるだろうか。おそらくそれは困難であったり、設備費用が高くなったりするであろう。

このように、データムにⓂを付加するかどうかは、計測においては取り付け状態の違いを示している。なお、組み立て時においては、相手部品との組み付け状態を示すことになる。

5. 幾何公差を0に設定するとは？

公差を0に設定して図面を出すと、設計部門の課長や加工部門の方のお叱りを受けるであろう。現実の技術に完璧なものなどあり得ないということである。ただ唯一、幾何公差にⓂを適用した場合のみ、幾何公差を0に設定することが許されている。しかし、これは完全なものを製作するように指示しているのではない。すでに述べたように、Ⓜの解釈は、曲がりであれば、

軸/穴が緩ければ、その分だけ曲がってもよい

であった。曲がりが0、すなわち $\begin{array}{|c|} \hline -\phi 0 \text{ Ⓜ} \\ \hline \end{array}$ とは、

軸/穴が、最もきつければ曲がってはならないが、
緩ければその分だけ曲がってもよい

と記述できる。実際は「曲がってはならない」ということは、現実的ではないので、加工としては、最もきつい状態のサイズを避けつつ、曲がりも含めて、サイズ公差の中になければならない。なお、この $\begin{array}{|c|} \hline -\phi 0 \text{ Ⓜ} \\ \hline \end{array}$ は、包絡の条件ⓔと同義である。この幾何公差に0を設定する方法は、曲がりだけではなく、倒れや位置のずれにも適用できる。

軸/穴が最もきつければ、倒れてはならないが、
緩ければその分だけ倒れてもよい

軸/穴が最もきつければ、位置はずれてはならないが、
緩ければその分だけ位置がずれてもよい

ただし著者は、φ0 Ⓜを薄板や非常に短いピンなどに適用することは勧めるが、深穴や板に立てられた細長いピンといったものに適用することは勧めない。一方で、サイズ公差を適切に選んで用いるならば、十分に有効なものとなる

図5 穴にⓂが適用される場合の説明図

という別の考え方をする人もいる。

6. Ⓜの本質に迫る

Ⓜの利点の一つは、すでに述べたように、加工への規制を緩和し、加工費用の低減効果が期待できることであるが、そもそも精密な位置決めに使わないのであれば、もともと緩いはめあいにしておけばよいと思わないだろうか。なぜこれほど凝った公差設定をする必要があるのだろうか。

Ⓜは、そもそも Maximum Material Requirement または Maximum Material Condition の省略であり、「最もきつい状態」を表している。加工費用の低減効果はその効果の一つでしかない。例えば穴を評価する場合、Ⓜがなければ、先月号で述べた独立の原則から、穴のサイズと穴の中心の位置は別々に評価する。一方、Ⓜがある場合は、穴のサイズが緩くなるにつれて、許される穴の位置のずれは大きくなってよい。この様子を図5に示した。図5の左図は、穴のサイズが緩くなるにつれて、許される穴の位置は大きくなることを示している。図から分かるように、許される位置のずれは、穴の下側が最もきつい穴に接するまでである。図5の左図では、穴の位置のずれは上側であるが、図5の中央の図では、さらに穴の位置のずれを下側にとった図を重ねている。図5の右図は、穴の位置のずれを8方向にとった図を示している。穴の位置のずれる方向は任意である。図5から、中央に空白がある。この領域内には穴の表面は入り得ないことが分かる。

まとめると、

Ⓜがなければ、サイズ形体の中心を規制する

Ⓜがあれば、サイズ形体の表面を規制する

ということである。これは、渡米中に Bryan Fischer という幾何公差の専門家が教えてくれた。

この領域が定義できると、機能ゲージを利用して、ゲージが通るか否かで部品を判定できるという利点がある。本来であれば、測定顕微鏡や三次元測定機がなければ測定できない穴の位置を機能ゲージで評価できる。ただし、機能ゲージだけでは穴の径を評価していないので、別途プラグゲージなどで評価する必要がある。それでも、位置の評価を簡略化できることは、量産の検査工程では有用である。

(a)寸法(サイズ)公差のみによる従来の図例

(b)サイズ公差と幾何公差を適用した図例

図6 キーとキー溝の図例

う。機能ゲージによる検証ができるのもⓂがサイズ形体の表面を規制することによって受ける恩恵の一つである。

7. Ⓜは精密に無縁なのか？

Ⓜを解説するにあたり、記述してきた言葉をもう一度読むと、「軸が緩かったら、その分だけ曲がってもよい」であり、やはり、加工上の利点が目立ちがちで、精密な位置決めには無縁に思える。

そこで、ここでは、図6に示すキーとキー溝の組み立てを例に、Ⓜの適用方法を解説する。図6(a)は、従来の製図法によるもので、図6(b)は、図6(a)に幾何公差を追加したものである。図は必要最小限の寸法と公差のみを示した。キーとキー溝のはめあいは、すきまばめ（滑動形）とし、計算を容易にするために、公差値はきりのよい数値とした。

まず、キーとキー溝のはめあいを無視して、軸と穴のはめあいだけに注目してみると、図6(b)にはⓂが付記されているが、図6(a)にはない。これは包絡の条件と呼ばれるもので、幾何公差で表せば、 $\boxed{-\phi 0 \text{ M}}$ と等価である。この解釈は、すでに述べたように、「軸が、最もきつければ、曲がってはならないが、緩かった分だけ曲がってもよい。」であり、軸の表面は $\phi 45$ の円筒の外側にはみ出さず、穴の表面は $\phi 45$ の円筒の内側に入り込まない。このように軸と穴のはめあいは、Ⓜまたは、 $\boxed{-\phi 0 \text{ M}}$ によって、はじめて正確に定義される。次に、軸に設けられたキー溝とキー、穴に設けられたキーとキー溝のはめあいについても同様の考え方で、Ⓜまたは、 $\boxed{-\phi 0 \text{ M}}$ を付記する。ただし、軸に設けられたキー溝と穴に設けられたキー溝には、Ⓜまたは、 $\boxed{-\phi 0 \text{ M}}$ がない。

これは、 $\boxed{\phi 0 \text{ M}}$ がその役割を果たしている。すなわ

ち、先月号で述べたように、位置のずれの設定は、曲がりのずれの設定も含むということである。

これまでで、軸と穴、キーとキー溝のはめあいの定義を確認した。最後に、軸と穴がはまりあった状態でのキーとキー溝のはめあいの確認をする。キーとキー溝が個別にはまったとしても、この場合、軸と穴の相対的な位置ははめあいによって規制されているので、キー溝が軸あるいは穴の中心に対してずれて加工された場合には、キーがキー溝に入らない可能性がある。もちろん、軸と穴のはめあいが緩い場合は、キーをキー溝に挿入するとき、軸と穴が互いに回転して挿入できることもあるが、ここでは軸と穴が最もきつい状態であったと考える。

ここで、キー溝の幅の中心面の位置を規制する。仮に位置のずれを0.2に設定したらどうなるだろうか。キー溝の位置のずれ、傾き、曲がりを0.2以内に収めるということは、キーやキー溝が最も緩く作られた場合は、設定した位置のずれの分だけがたがが増えていく。幾何公差を追加したのためにキーとキー溝のはめあいが緩くなってしまったのは本末転倒である。先月号で示した図2の例を今一度、見てみると、図2(d)では曲りを0.5、図2(e)では曲がりを含めた倒れを1.0、図2(f)では曲がり・倒れを含めた位置のずれ1.5を考慮して、徐々に軸は細くなり、同時に穴は大きくなっている。

今一度、キーとキー溝の問題に戻る。上記の問題に対して、曲がり・倒れを含めた位置のずれも含めて、キー溝の幅を14.00~14.05の範囲に収めたいと思わないだろうか。あるいは、すでにそのように意図して、図面を描いたり検査をしたりしていないだろうか。その場合、図6(a)では十分に定義されておらず、この意図を正しく定義するのが、図6(b)の $\begin{matrix} \oplus & 0 & \text{M} & A & \text{M} \end{matrix}$ である。なぜなら、すでに述べたように、「溝が最もきつければ位置がずれてはならないが、緩ければその分だけずれてもよい」からである。Ⓜが精密と無縁ではないことがご理解いただけただろうか。

さらに、データムにⓂがついていることに注目する。これは4.2節で述べた部品の検査時の固定方法を指示している。最も軸が太いとき（すなわちⓂ）に検査する機能ゲージは、例えば図7のようなものが考えられる。相手部品と同じ形をしているが、それぞれの軸や穴の径やキーの幅のサイズは、最もきついサイズで作られる。

これらの結果から、各部品の形体のばらつきが公差内である限り、はまりあう相手部品の選別作業が不要である。すなわち、Ⓜの指示は、はめあい関係にある部品の互換性を保証することができる。

一方、データムにⓂが指示されていない場合には、直径が調整可能な測定や検査をする。例えば、三次元座標測定器や測定顕微鏡で測定するか、図8に例を示す機能ゲ

図7 キー溝の機能ゲージの例

図8 Ⓜのないデータムの機能ゲージ例（①→②の順で取り付け・評価するが現実的でない）

ジで評価する。この方法では直径が調整可能であるため、いわゆるがたが生じないという利点がある。しかし、機能ゲージが複雑になり、キーのはめあいのように厳しい精度が要求される検証ができるかどうかを思えば、恐らく図8の例では不可能であろう。部品の回転方向を正しく合わせることができないからである。著者はここに良い解をもっていないし、図7の機能ゲージが最適と考える。

8. おわりに

難解と思われがちな最大実体公差方式について、やさしい解説を試みた。特に、“公差値をもつⓂ”と“公差値0のⓂ”について、その意味と特徴を紹介してきた。幾何公差の公差値やデータムにⓂがつくと、途端に何を意味しているのかが分からなくなり、Ⓜを使うことを避けているエンジニアが多いかもしれないが、実はすでにⓂ相当の解釈で検査をしていたということはないだろうか。

寸法公差主体の図面のままでは、日本は図面鎖国状態になりかねないという警鐘が鳴らされている。著者の感覚では、すでに鎖国状態なのではないかと思うぐらいである。しかし、物事をきっちりと行いたいと思う日本人の気質は、幾何公差に向いている気がしてならない。本稿をお読みいただいた読者諸賢もその気質を十分にもっていると確信している。