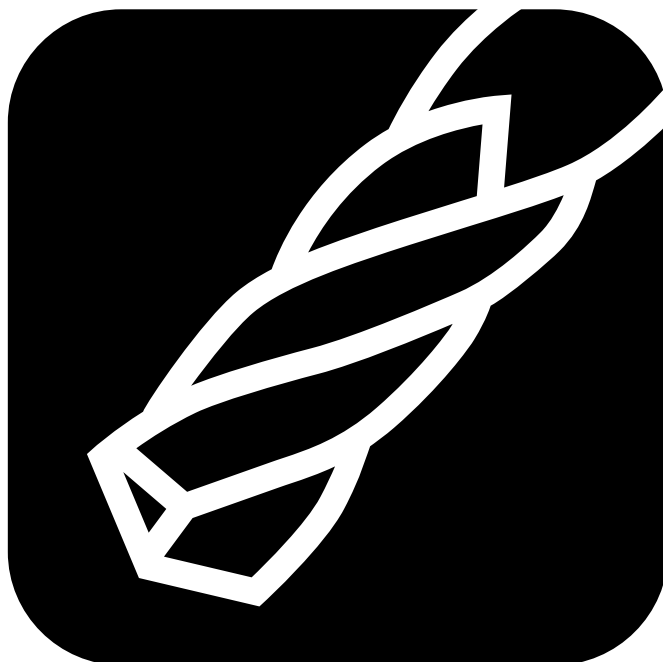




TECHNICAL
DATA

ドリル加工



オーエスジー株式会社



はじめに

ドリルはDIY（Do It Yourself：自分で何かを作ったり、補修したりすること）でも使われる最も身近にある切削工具です。誰もが一度はドリルによる穴あけ加工を経験したことがあるのではないのでしょうか。

機械加工を行う工場においてもドリルでの穴あけ加工は最も一般的な加工であり、穴の無い機械部品は無いといってもよいほどです。

ドリルによる穴あけ加工は、このように日頃から馴染みがあるとともにドリルを機械に取付け回転させて押し込むだけの単純作業であるため、ごく簡単な加工と考えられがちです。しかし実際に加工してみると、精度よく曲がらずに穴をあけることはなかなか難しいことがお分かりいただけるでしょう。

近年、工作物の高精度化、難削材化が進んでいます。また、高性能な工作機械が登場し、ドリルの穴あけ加工においても、寸法精度や加工品位の要求が厳しくなりました。加えて、ドリルの長寿命化や加工能率の向上も求められるようになってきています。

こうした背景の中で、様々な高性能ドリルが開発され大きく貢献をしています。反面こうしたドリルを使いこなすための知識や技術が求められるようになりました。

ここではドリルを正しく選び、正しく使うために、各部要素と切削特性、切削条件の考え方などを解説し、高性能ドリルを使いこなすための基礎技術を紹介します。

なお使用する用語は、できる限りJIS用語を用いるようにしていますが、一般表現や加工現場で慣用的に使われる表現も用いており、必ずしもJIS用語とは合致していないことをご了承ください。



目 次

1. ドリルの基礎	2	4. ドリルの加工条件	33
1-1 ドリル各部の名称	2	4-1 切削速度	33
1-2 ドリルの種類	4	4-2 送り量	34
(1) 構造による分類	4	4-3 ステップ送り	36
(2) シャンクの形態による分類	5	4-4 切削油剤	37
(3) 溝のねじれによる分類	5	5. スラスト、トルク、所要動力の推測	38
(4) ボディの軸直角断面形状による分類	6	6. 加工穴の品位	39
(5) 長さによる分類	6	6-1 穴の拡大	39
(6) 用途による分類	7	6-2 穴の位置精度	40
1-3 ドリルの各部要素と機能	8	6-3 穴の傾き、曲がり（真直度）	40
(1) 溝長	8	6-4 真円度	41
(2) 溝フォーム（溝形状）	9	6-5 ばり	42
(3) マージン	9	7. ドリル使いこなしのポイント	44
(4) 心厚（ウェブ）	10	7-1 特殊な穴あけ加工	44
(5) 溝幅比	10	7-2 ロングドリルでの深穴加工	45
(6) ねじれ角	10	(1) 推奨加工方法	45
(7) すくい角	11	(2) ロングドリルの使用上の注意	45
(8) 先端角	13	7-3 切りくずの観察	46
(9) 逃げ面形状	15	(1) 異常を知らせる切りくず形状	46
(10) シンニング	16	(2) 切りくずの色と温度	47
(11) 逃げ角	17	7-4 ドリルの損傷状態と対応	47
(12) ホーニング	18	8. トラブルシューティング	50
(13) バックテーパ	19	9. ドリルの再研削	52
(14) シャンク	20	9-1 再研削の時期	52
2. ドリルの材質と表面処理	21	9-2 再研削方法	52
2-1 ドリルの材質	21	9-3 再研削後の確認	54
(1) 高速度工具鋼（HSS ハイス）	21	9-4 研削砥石と研削条件	54
(2) 超硬合金	22	9-5 再研削を行う際の安全上の注意	54
(3) ダイヤモンド	23	3. ドリル加工の基礎	26
2-2 ドリルの表面処理	24	3-1 切削の基本	26
(1) 水蒸気処理（ホモ処理）	24	3-2 ドリルの切削機構	27
(2) 窒化処理	24	3-3 ドリルに作用する力	27
(3) コーティング	25	3-4 ドリル加工での切りくず形状	29
3. ドリル加工の基礎	26	(1) 円すいらせん形	29
3-1 切削の基本	26	(2) 長ピッチ形	29
3-2 ドリルの切削機構	27	(3) ジグザグ形	30
3-3 ドリルに作用する力	27	(4) せん移折断形	30
3-4 ドリル加工での切りくず形状	29	(5) 扇形	30
(1) 円すいらせん形	29	(6) 針状	30
(2) 長ピッチ形	29	3-5 加工工程での切りくず形状の変化	31
(3) ジグザグ形	30	3-6 各種被削材での切りくず	32
(4) せん移折断形	30		
(5) 扇形	30		
(6) 針状	30		
3-5 加工工程での切りくず形状の変化	31		
3-6 各種被削材での切りくず	32		



1. ドリルの基礎

1-1 ドリル各部の名称

ドリルは先端に切れ刃をもち、また、ボディに切りくずを排出するための溝をもつ、主として金属の穴あけ用として一般的に用いる工具です。

ドリルの各部には図1.1.1 ならびに表1.1 のような名称が付けられています。

ちなみに図面で「直径6mmのドリルを使って穴を

あける」という指示をする場合は「6 キリ」と表します。このように加工現場ではドリルのことを「きり」と呼ぶこともあります。

なお、これまで国やメーカーによって異なっていた各部の表記記号がISO13399によって統一されました。

図1.1.2 ならびに表1.2 にその例を示します。

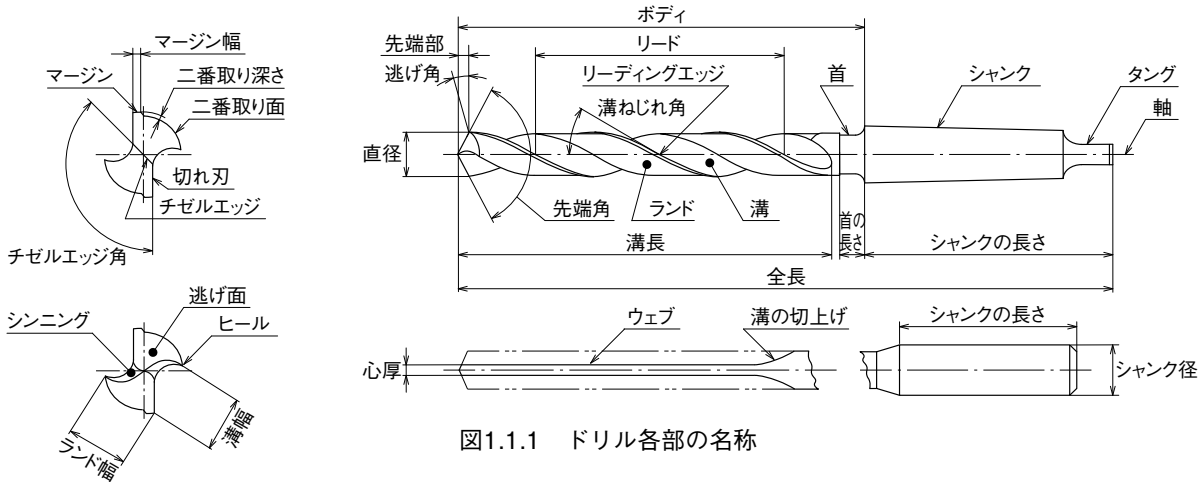


図1.1.1 ドリル各部の名称

表1.1 ドリルの要素

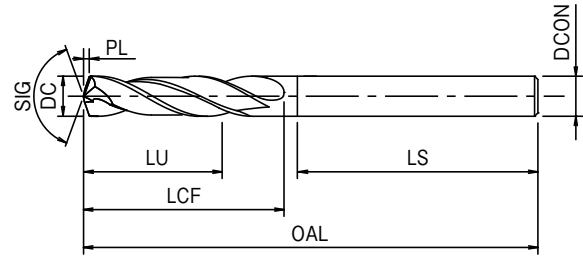
JIS B 0171 :2014 b) より抜粋

用語	定義
直径	刃部先端外径の寸法。
全長	軸に平行に測った、切れ刃先端又は外周コーナからシャンク後端までの長さ。
ボディ	シャンク前端から切れ刃先端までの部分。
溝	隣り合った切れ刃とヒールとの間の切りくず排出のためのへこんだ部分。
溝長	軸に平行に測った切れ刃先端又は外周コーナからの溝の切上げを含む溝の長さ。
シャンク	ドリルの柄部で、使用の際に保持する部分。
シャンク径	ストレートシャンクの外径。
シャンクの長さ	軸に平行に測ったシャンク部分の長さ。
タング	シャンクの後端に設けられた平たん部。ストレートシャンクの場合は、テノンと呼ぶこともある。
首	ボディの円筒状のくびれた部分。
首の長さ	軸に平行に測った首の長さ。
軸	ドリルの長手方向の中心線。
リード	リーディングエッジに沿って軸の周りを一周するとき、軸方向の進む距離。
二番取り面	切削中にドリルの外周と工作面との摩擦を避けるために隙間を付けた面。
二番取り深さ	ドリルの外周から二番取り面までの深さ。
チゼルエッジ	二つの逃げ面の交線。
溝幅	軸直角断面上の溝をまたぐ幅。
ランド	リーディングエッジからヒールまでの堤状の幅を持った部分。

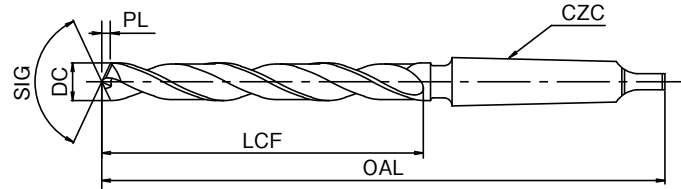
用語	定義
ランド幅	軸直角断面上のランドの幅。
マージン	ランド上の二番取りをしていない円筒面部分。
マージン幅	軸直角断面上のマージンの幅。
ウェブ	溝底によって形成された部分。
心厚	先端部でのウェブの厚さ。
溝の切上げ	ドリルの溝を加工するとき、工具の切上げに相当する部分。
切れ刃	すくい面と逃げ面との交線。
逃げ面	切込んでいくとき、工作面との不必要な摩擦を避けるために逃がした面。この面とすくい面との交線が切れ刃を構成する。逃げ面の形状には、円すい面と平面がある。
リーディングエッジ	溝とマージンとで形成される交線。
ヒール	二番取り面と溝とによって形成される交線。
先端部	切れ刃、すくい面、逃げ面及びチゼルエッジによって構成される部分の総称。実際の切削作業を行う部分。
シンニング	ウェブの先端を特に薄くした部分。切削抵抗を小さくするためのもの。
先端角	ドリルの軸に平行な面に切れ刃を平行にして投影したときの角。
チゼルエッジ角	ドリルの端面から見たときに、チゼルエッジと切れ刃とがなす角。
逃げ角	外周コーナにおいて、軸直角断面と逃げ面とがなす角。



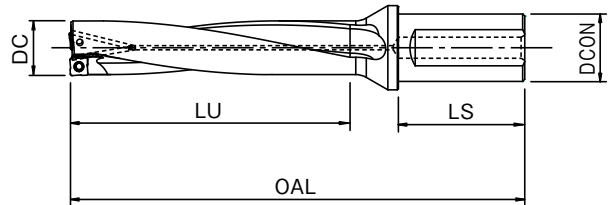
ソリッドドリル



テーパシャンクドリル



刃先交換式ドリル
(インデキサブルドリル)



ヘッド交換式ドリル

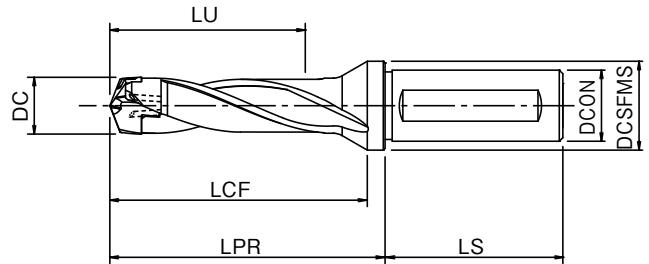


図1.1.2 各部の記号表記 (ISO13399 準拠)

表1.2 ISO13399 に準拠した記号 (抜粋)

記号	ドリルの要素
CZC	接続サイズ
DC	切削径(ドリルの直径)
DCON	接続径(シャンク径)
DCSFMS	接触面の径、フランジ径
LCF	溝長
LPR	工具突出し長さ
LS	シャンク長さ
LU	使用可能長さ
OAL	全長
PL	先端と肩部寸法差
SIG	先端角



1-2 ドリルの種類

ドリルは形状、材質、構造、機能などから分類され、多くの種類があります。

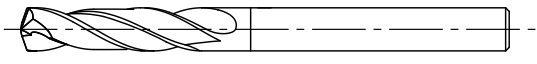
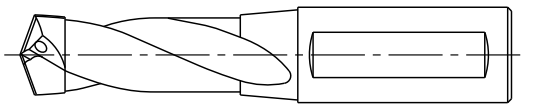

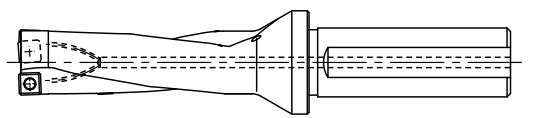
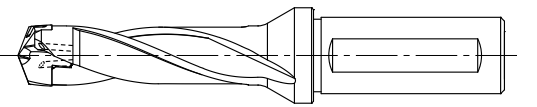
先交換式ドリル、ヘッド交換式ドリル、付刃ドリルなどに分類されます。代表的なものを表1.3 に示します。

(1) 構造による分類

ドリルは主に、工具の構造からソリッドドリル、刃

表1.3 構造による分類

JIS B 0171 :2014 a) 2) より抜粋

ドリルの種類	構造
ソリッドドリル	ボディとシャンクとを一体の工具材料で作ったドリル。 むくドリルともいう。
	
付刃ドリル	切れ刃として超硬合金やその他の材料のインサートをろう付けしたドリル。
	
差込ドリル	ボディをシャンクに差し込んでろう付け、圧入などの方法で接合したドリル。
	
刃先交換式ドリル (インデキサブルドリル)	刃先交換インサートをボディに機械的に取り付けたドリル。
	
ヘッド交換式ドリル	刃部をボディに機械的に取り付けたドリル。
	



(2) シャンクの形態による分類

基本的には、ストレートシャンクとテーパシャンクに分類されます。テーパシャンクはホルダとの接触面積が大きくなるため、把持力が高まります。シャンク

の端面にタングと呼ばれる平坦部が設けられたものもあり、ホルダの平坦溝と接合することで、回り止めの効果を発揮します。これらの例を表1.4 に示します。

表1.4 シャンクの形態による分類

JIS B 0171 :2014 a) 3) より抜粋

ドリルの種類	シャンク形態
ストレートシャンクドリル	シャンクが円筒状になっているドリル。
タング付き ストレートシャンクドリル	シャンクにタングを設けたストレートシャンクドリル。
テーパシャンクドリル (モールステーパ)	シャンクがモールステーパになっているドリル。 ドリルでテーパシャンクといえばほとんどがモールステーパ。

(3) 溝のねじれによる分類

溝のねじれたドリルは、ツイストドリルと呼ばれることもあります。これはTwist (ねじれ) から来た名

称です。

表1.5 に溝のねじれによる分類を示します。多くの加工現場では右ねじれドリルが使用されています。

表1.5 溝のねじれによる分類

JIS B 0171 :2014 a) 4) 4.1) より抜粋

ドリルの種類	溝のねじれ形態
右ねじれドリル	溝が右ねじれのドリル。
左ねじれドリル	溝が左ねじれのドリル(左回転で使う)。
直刃ドリル	溝がねじれていないドリル。主として、非鉄の穴加工に用いる。
不等リードドリル	溝のリードが一定でないドリル。


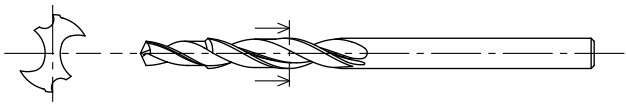
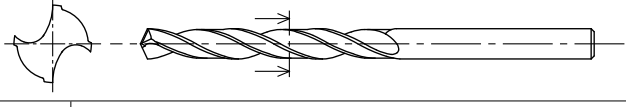
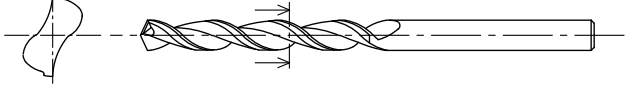


(4) ボディの軸直角断面形状による分類

一般的なドリルは二つの溝を持ち、各ランドの切れ刃側に一つのマージンを持った断面形状となっている。

ます。一つのランドに二つのマージンを持つダブルマージンドリルや、ドリルに油穴を設けたものもあります。主なものを表1.6 に示します。



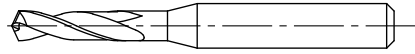
表1.6 ボディの軸直角断面形状による分類 JIS B 0171 :2014 a) 4) 4.2) より抜粋

ドリルの種類	軸直角断面形状
油穴付きドリル	ボディに油穴を持つドリル。
	
複溝ドリル	二つ以上の直径のリーディングエッジをもつドリル。
	
ダブルマージンドリル	一つのランドに二つのマージンを持つドリル。
	
平溝ドリル	心厚が厚く、ランド幅の狭いドリル。主として、深穴加工に用いる。
	

(5) 長さによる分類

溝長の違いによって表1.7 のようにレギュラドリル、ロングドリル、スタブドリルに分類されます。

表1.7 長さによる分類 JIS B 0171 :2014 a) 4) 4.3) より抜粋

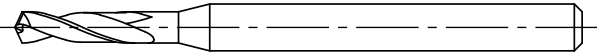
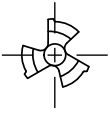

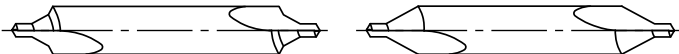
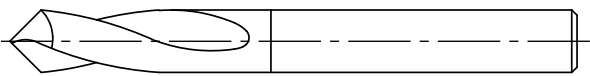
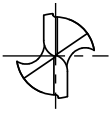

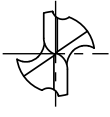


ドリルの種類	溝長
レギュラドリル(ミドル)	全長及び溝長が汎用のドリル。
	
ロングドリル	全長及び溝長がレギュラドリルよりも長いドリル。
	
スタブドリル	全長及び溝長がレギュラドリルよりも短いドリル。
	



(6) 用途による分類

用途によってもドリルを分類することができます。その例を表1.8に示します。

表1.8 用途による分類 JIS B 0171 :2014 a) 4) 4.4) より抜粋

ドリルの種類	用途
ルーマ形ドリル	直径とシャンク径とが異なるストレートシャンクドリル。 直径に対しシャンク径が太く剛性があり、一般に高精度の穴加工に適する。
	
コアドリル	ドリルの中心部に切れ刃がなく、下穴加工後の仕上げ、リーマの下穴加工などに用いるドリル。主として三つ溝及び四つ溝がある。
	
センタ穴ドリル	センタ穴加工に用いるドリル。
	
スターティングドリル	穴の位置決め精度を高めるため、穴加工の前に用いるドリル。 面取り加工にも用いる。
	
段付きドリル	二つ以上の直径を持ち、段になっているドリル。段付き穴又は穴あけ及び面取りを同時に加工する場合に用いる。単溝段付きドリル、複溝段付きドリルなどがある。
単溝段付き	
	
複溝段付き	
	
鉄骨用ドリル	橋梁などの鉄骨の穴あけに用いるドリル。
	



1-3 ドリルの各部要素と機能

ドリルは一見単純な形状をしています。各部要素は互いに密接な関係を持ちながら加工能率や工具寿命、穴精度に複雑に影響を及ぼしています。ここでは各部の形状と機能について説明します。

(1) 溝長

ドリルの溝長は、切削速度、送り量、切削油剤の選定などと並びドリルの寿命に大きな影響を及ぼします。長さの異なる中実丸棒を同じ量 δ たわませるのに必

要な力の関係を図1.3.1 に示します。溝長は加工穴深さ、ブッシュ、再研削代を考慮した上で、できる限り短く設定するのが望ましいと言えます。これは溝長が長ければ長いほど剛性が低下し、ホルダ取付精度の影響により、たわみや振れが拡大され、不安定な切削状態になるためです。

ドリルの溝長を選定する場合には、図1.3.2 を目安としてください。

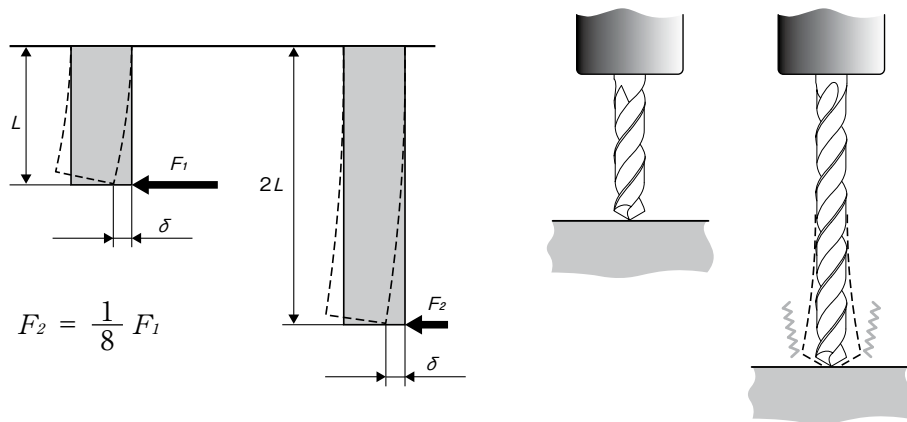
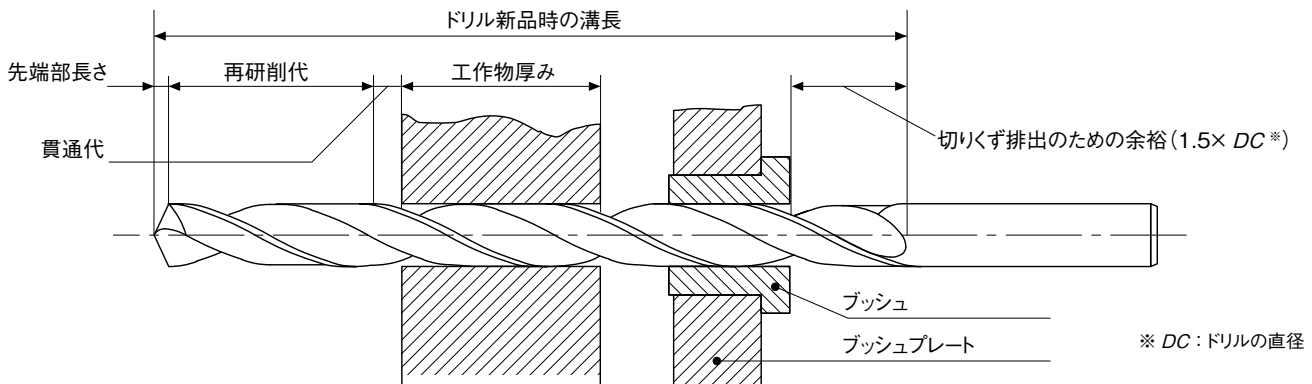


図1.3.1 長さとう性



穴深さ(ブッシュとワークの間隔、ブッシュ長を含む) + 切りくず排出のための余裕(1.5×DC程度) + 再研削代 + 貫通代

図1.3.2 溝長の選定



(2) 溝フォーム（溝形状）

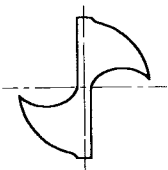
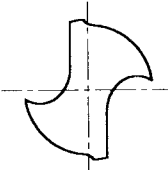
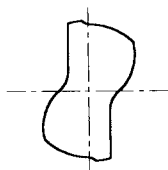
先端の切れ刃で生成された切りくずは、溝に沿って排出されます。しかし切削油剤は切りくずとは逆に、穴の入り口から切れ刃に向かい、溝に沿って供給されます。この一連の機能を果たしているのが溝です。

切りくずの排出経路を広くとれば、切りくずの拘束が小さくなり、穴の外にスムーズに排出されるようになります。しかしドリルの軸直角方向の断面積は小さくなり、工具剛性が損なわれることとなります。また切りくずが折れにくいため、長くつながった状態となります。

逆にドリルの断面積を大きくすると、工具剛性は高まりますが、切りくずの排出経路は狭くなり、切りくずが拘束を強く受けるようになります。切りくずの変形量が増加することで切削に要する力は大きくなりますが、拘束を受けた切りくずは亀裂を生じて短く折れるようになります。

代表的な溝フォーム（溝形状）とその用途を表1.9に紹介します。

表1.9 代表的な溝フォームと用途

種類	形状	心厚 (DCはドリルの直径)	特徴・用途
一般型フォーム		$0.10 \sim 0.25 \times DC$	切りくずの収容能力が大きい ・一般用
高剛性フォーム		$0.20 \sim 0.35 \times DC$	高送りに耐える高剛性フォーム、 Rシンニングなどの低スラストシンニング が必要 ・重切削用
平溝フォーム (パラボリック型)		$0.30 \sim 0.45 \times DC$	剛性とともにも溝の広さも考慮した フォーム ・深穴用として多用される

(3) マージン

マージンはランド上の二番取りをしていない円筒面部分のことを指し、ドリルを穴に沿って案内するガイドの役目を果たします。

基本的にマージン幅が広がるとガイド性が増し、加工穴の真直度は良くなる傾向にあります。またバニシング作用が大きくなるため、真円度や穴の壁面粗さも向上します。しかしその反面、トルクや発熱の増加を招きやすくなります。

通常、マージンはランド上のすくい面側に設けられ、二つ溝のドリルでは相対する位置の二箇所に配置されます。図1.3.3のようにランドのヒール側にもマージンを設けたダブルマージンドリルもあります。

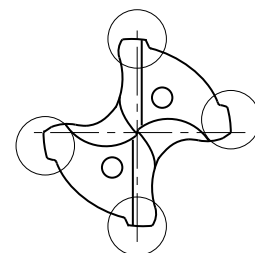
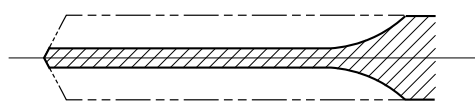


図1.3.3 ダブルマージンドリルの例

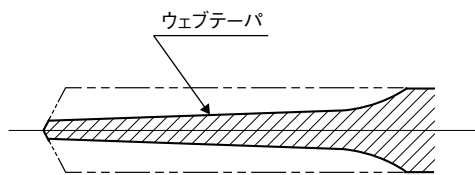


(4)心厚 (ウェブ)

心厚が厚いほどドリルの強度は高くなりますが、溝は浅くなります。加工する穴が深いと、ドリルの溝長も長くなるため、心厚を厚くして曲がりや折損を避ける必要があります。しかし切りくずを排出する空間も同時に確保しなければなりません。そこで先端の心厚を薄く、シャンク側に行くにしたがって厚くするウェブテーパ (図1.3.4) を設けたり、溝の広い平溝型 (図1.3.5) にしたりするなどの工夫がなされます。また心厚が厚くなるにしたがって切削抵抗を減らすために、効果的なシンニングが必要となってきます。



ウェブテーパ 無し



ウェブテーパ 有り

図1.3.4 ウェブテーパ

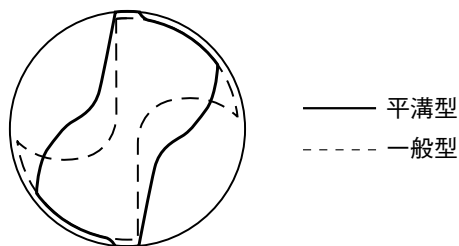


図1.3.5 平溝型と一般型の溝

(5)溝幅比

溝幅比は図1.3.6 に示すドリルの先端におけるランドの角 (θ_1) に対する溝の角 (θ_2) の比で表されます。

溝幅比が小さくなれば、工具断面積は大きくなり剛性は向上しますが、切りくずを収納する空間は小さくなります。逆に溝幅比が大きくなると、剛性は低くなるものの切りくずを収納する空間は大きくなります。

先に説明した心厚と、この溝幅比はドリルの切りくず排出能力に大きく影響を及ぼします。

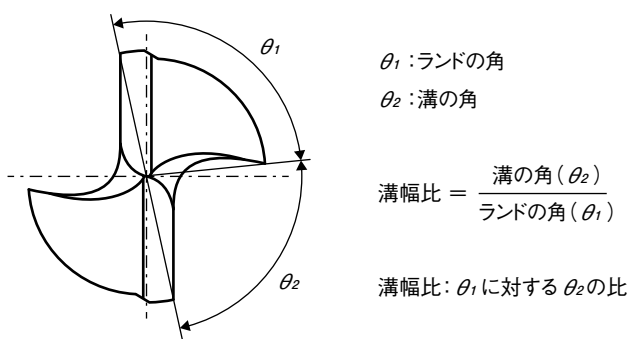


図1.3.6 溝幅比

(6)ねじれ角

ドリルのねじれ角は切れ刃のすくい角を決定します (図1.3.7)。

ねじれ角を大きくしていくと、すくい角が大きくなり、切削抵抗は小さくなる傾向にあります。しかし過度にねじれ角を大きくすると、切れ刃にチッピングや欠けが発生しやすくなるばかりか、ねじり剛性が低下する原因ともなります。一般的に汎用ドリルでは30°前後が採用されています。

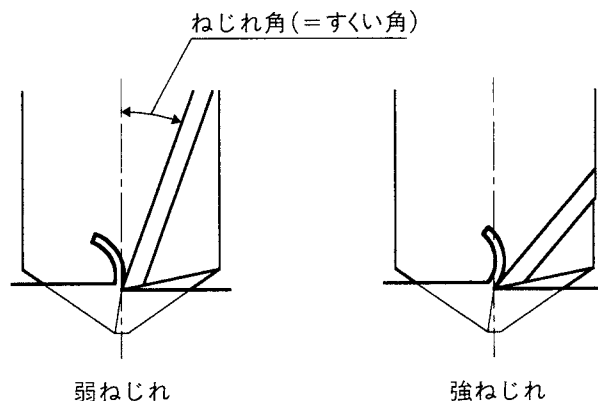


図1.3.7 ドリルのねじれ角とすくい角



一般に硬い被削材ではねじれ角を小さくし、柔らかい被削材ではねじれ角を大きくします。これは硬い被削材では刃先強度を上げることでチップングや欠けを防止し、軟らかい被削材ではすくい角を大きくして切れ味を良くするためです。

また図1.3.8のように同じ断面形状であってもねじ

れ角が大きくなると、実際の切りくず流路の幅は狭くなり、加工穴の外に排出されるまでの距離は長くなります。もしこの流路の幅を大きく保とうとすると工具断面積を小さくしなければなりません。

こうしたことから小径ドリルではねじれ角を小さくすることがあります。

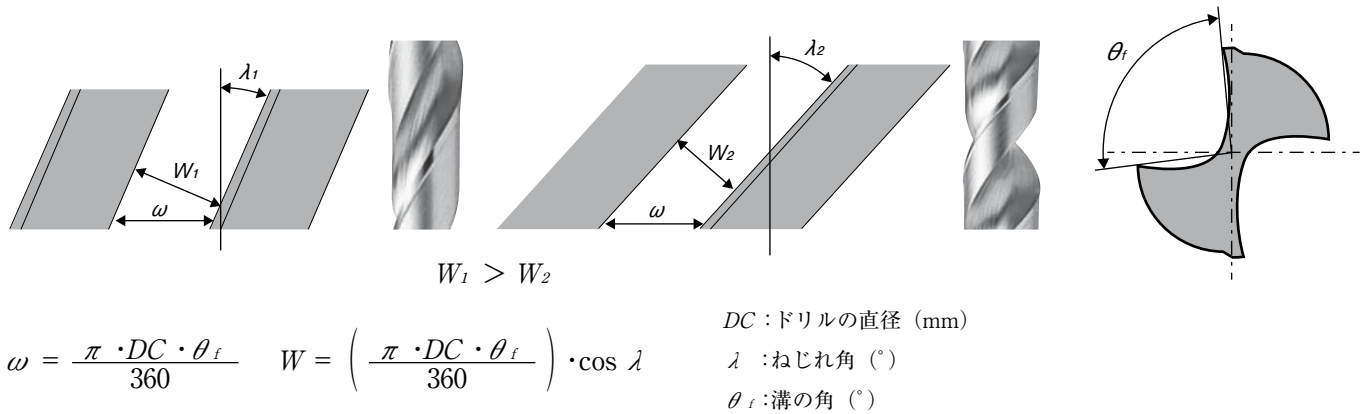


図1.3.8 ねじれ角と切りくずの流路

(7) すくい角

先述したように、切れ刃のすくい角はねじれ角によって決定されますが、切れ刃の位置によってその大きさは変化します。

外周から中心に向かうにしたがって、すくい角は次第に小さくなります。この関係を表したのが1.1式です。この時、溝のリードとは溝がドリルボディの周りを一回転する間に進む距離のことで、1.2式のようになります。

なおJISではすくい角を「外周コーナにおける、リーディングエッジと軸とがなす角」(図1.3.9)と定義しているため、通常はすくい角といえば外周側の一番大きな値を表します。

実際の切削では、切りくずの流出方向に対するすくい角(有効すくい角)が作用しますが、切れ刃各位置における有効すくい角を求めることはなかなか厄介であるため、相对比较ができるようにJISでは便宜上このように表していると推測されます。

$$\gamma_x = \tan^{-1} \left(\frac{\pi \cdot 2 \cdot r_x}{L} \right) \dots \dots \dots (1.1)$$

$$L = \frac{\pi \cdot DC}{\tan \lambda} \dots \dots \dots (1.2)$$

DC: ドリルの直径 (mm)
λ: 溝のねじれ角 (°)
γ_x: 切れ刃各位置におけるすくい角 (°)
r_x: 切れ刃各位置におけるドリル半径 (mm)
L: 溝のリード (mm)

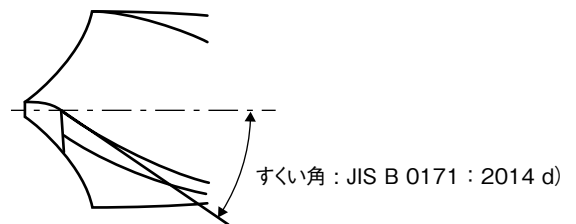


図1.3.9 ドリルのすくい角



図1.3.10にすくい角が変化した時の切削状況の違いを示します。このように金属の切削ではせん断という現象が発生しますが、せん断角（せん断の起こる角度）はすくい角が大きくなると次第に大きくなります。せん断角が大きくなると、切りくずの変形量は小

さくなります。つまりこの変形量が小さくなった分だけ、切削に要する力が小さくなります。

図1.3.11にすくい角を大きくした時のスラストとトルクの変化を示します。

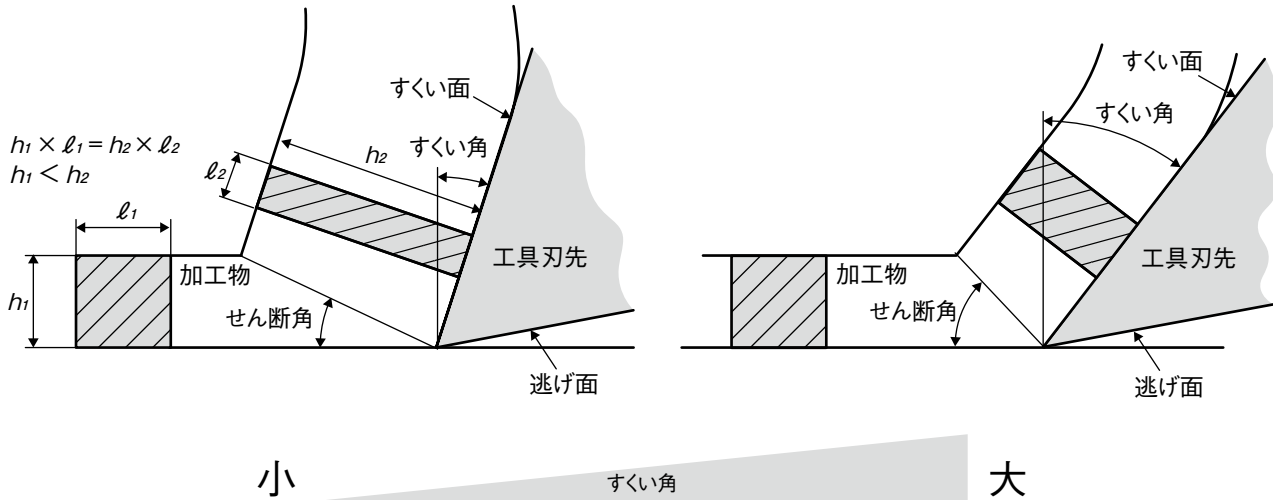


図1.3.10 すくい角とせん断角

使用工具	超硬ドリル(Xシニング)φ10
被削材	S50C
切削速度	80m/min
送り量	0.25mm/rev
穴深さ	30mm(止り)
切削油剤	水溶性切削油剤(外部給油)
使用機械	立形マシニングセンタ

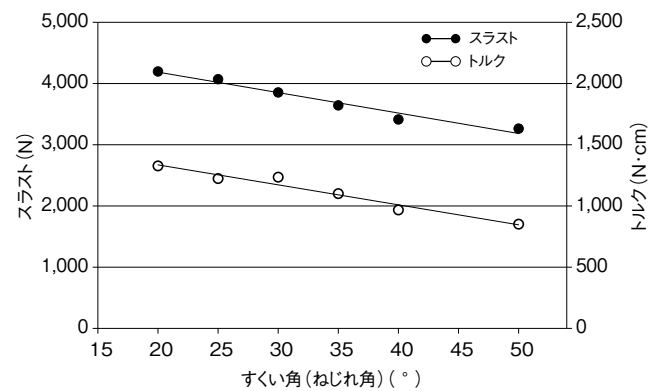


図1.3.11 すくい角（ねじれ角）と切削抵抗



(8) 先端角

先端角はその文字通りドリルの先端の角度をいいます。図1.3.12のように測定される角度になります。先端角とはつまり、円すいの中心を通らない断面での角度を示しています。

本来、ドリルの中心を通らない切れ刃は図1.3.13のように双曲線を描きます。点Aと点B、点Aと点Cそれぞれを直線状に刃付けをしていますので、たとえDWEL（ドゥエル）加工を行ったとしても、先端角と同じ頂角の円すい形状とはなりません。先端角より小さな頂角を持つ略円すい形状となります。

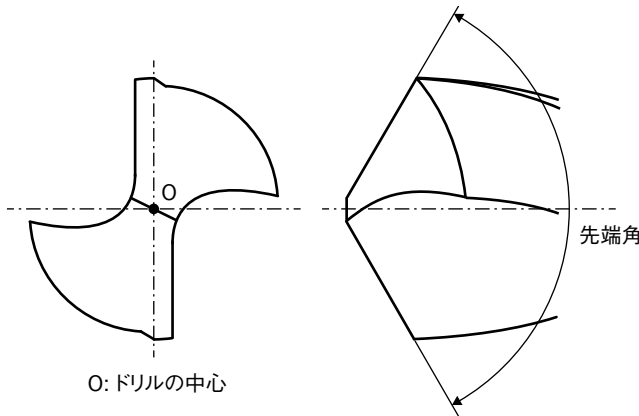
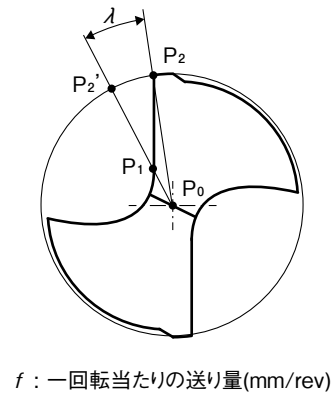


図1.3.12 先端角の測定

したがって先端角90°のドリルを面取り加工に使用すると、面取り角度が45°より小さくなるため注意が必要です。角度公差が厳しい面取り加工には面取り専用工具をお使いください。

さらに切れ刃が円すいの中心を通らないために送り量の影響も受けることになります。図1.3.14に示すようにP₁点を加工してから、P₁と回転中心P₀を通る線の延長線上にあるP₂を切削するまでには、 $f \cdot \lambda / 360$ (mm)ドリルが前進します。ごくわずかではありますがこの前進分の影響も受けることになります。



f : 一回転当たりの送り量(mm/rev)

図1.3.14 送り量の影響

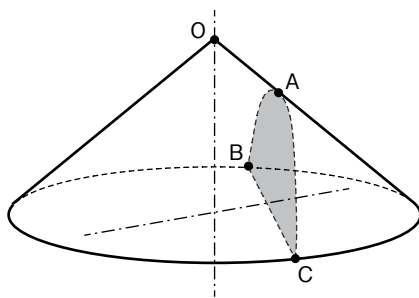


図1.3.13 円すいの断面形状

ところで、一般に汎用HSSドリルの先端角は118°となっています。なぜ118°になったのでしょうか。118°の時にスラストとトルクのバランスが良くなるからともいわれますが、これは近年になってから後付けされた理由です。

百年以上も前に、当時使用されていたドリル（ねじれ角30°程度、心厚0.2D程度）の中で、加工穴の曲がりや拡大が少ないものが先端角118°であったというような経験則から決まったものと推測します。まさに先人の知恵なのでしょう。



なお、汎用HSSドリルは先端角が 118° の時に切れ刃が直線となるように溝フォームが設定されています。先端角が 118° より小さいと切れ刃は凸曲線となり、 118° より大きいと凹曲線になります（図1.3.15）。つまり先端角 118° の汎用HSSドリルは先端角 118° の時に最も都合がよくなるように設計されているということが出来ます。

先端角と切削抵抗の関係を模式的に示すと図1.3.16のようになります。

理論上、先端角を小さくすると、軸方向の力は小さくなり、径方向の力が大きくなります。逆に先端角を大きくすると軸方向の力は大きくなり、径方向の力は小さくなります。

また図1.3.17で示すように、一回転当たりの送り量 f が同じであれば、先端角が小さい方が切取り厚さが薄くなりますが、加工面に接触する切れ刃長さは長くなります。反対に先端角が大きくなると、切れ刃と加工面の接触長さは短くなりますが切取り厚さは厚くなります。

切取り厚さが薄くなることは切削抵抗の軽減につながります。反面、接触切れ刃長さが長くなると、切削抵抗や発熱量が増加することになります。

近年では、連続せずに短く折れた切りくず（せん移折断形切りくず）を積極的に排出するように設計されたドリルがあります。こうしたドリルでは切りくずを厚くして破断しやすくするために $130^\circ \sim 140^\circ$ 程度の先端角を採用するのが一般的です。

溝部の断面積が大きなHSSドリルや超硬ソリッドドリルでは、軸方向強度（座屈強度）が高いため、先端角を大きくすることで軸方向の力が少々増加しても問題はありません。むしろ先端角を大きくすることによって径方向に働く力が小さくなるため、加工穴の精度を向上させるには有利となります。さらに超硬ソリッドドリルでは先端角を大きくすることで先端中心部の強度が増し、欠けを防止するという効果もあります。



図1.3.15 先端角 118° のドリル

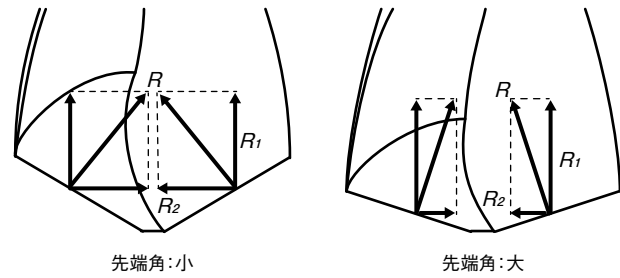


図1.3.16 先端角と切削抵抗

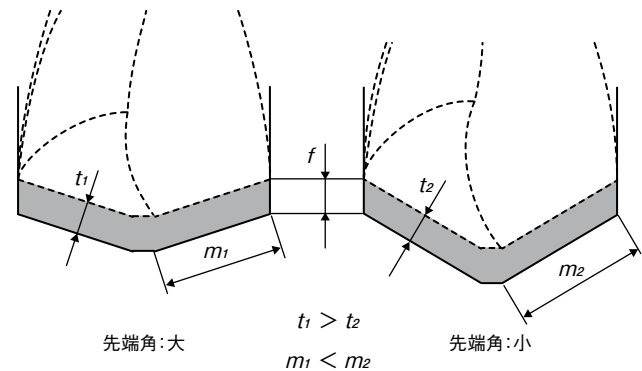


図1.3.17 先端角と切取り厚さ



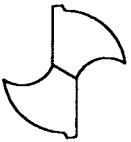
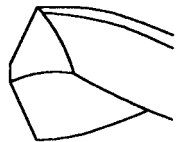
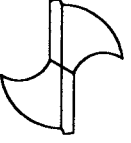
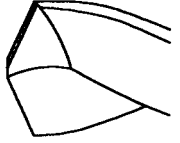
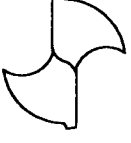
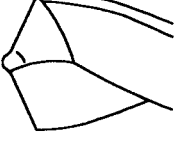
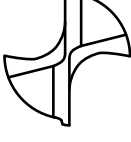





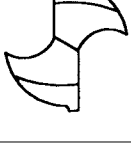

(9) 逃げ面形状

ドリルの切れ刃は溝の先端部に逃げ面を設けることで形成されます。その逃げ面の形状には表1.10のように様々なものがあり、用途に応じて使い分けられ

ています。

またドリルの再研削は先端部のみ行うので、再研削のしやすさも逃げ面形状を選ぶ重要なポイントとなります。

表1.10 逃げ面形状

逃げ面形状	外観		特徴・用途
円すい研削			・汎用で、一般ドリルに用いられる
平面二段			・求心性が良好で刃付精度が良いため、小径ドリルに多用される
スパイラル			・チゼルエッジのクリアランスが広く、軟らかい材料に向く
フラット			・求心性は劣るが抜けばり対策や座ぐり穴加工などができる
ラジアルリップ			・面粗さの向上や貫通時のばりやこぼれ抑制に効果がある ・鋳鉄やアルミニウム合金鋳物用に使われる
ろうそく研ぎ			・薄板等の貫通時のばりや振動の抑制効果がある
二段研削			・肩部の切れ刃の強度が高く、硬質材料の穴あけに効果がある



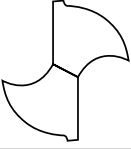
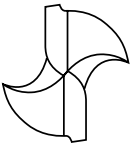
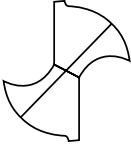
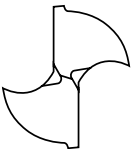
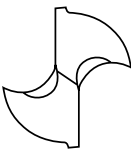


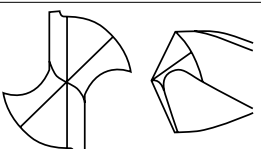
(10) シンニング

ドリルの先端部にはチゼルエッジがあり、その部分はねじれ溝によるすくい角が形成されません。またチップポケットもほとんど無いくさび形状をしているため、加工物を十分に削ることができずに押しつぶすだけとなります。そこでチゼルエッジを短くして、

すくい角を設け、中心部からの切りくず排出性を良くするための加工を施すことがあります。これをシンニングといいます。

シンニングには様々な種類があり、ドリルの仕様や用途に応じて決定されます。表1.11 に代表的なシンニングの種類と効果を紹介します。

表1.11 シンニングの種類と効果

名称	外観	特徴・用途
シンニングなし		・汎用
R型		・重切削用 ・食付き性良好 ・切りくず分断 ・スラストの低減
X型		・食付き性良好 ・比較的心厚が厚いドリルに有効 ・スラストの低減
N型		・心厚が薄いドリルや先端角の小さいドリル向き ・チップポケットが広い ・先端強度が高い
S型		・心厚が薄いドリルや先端角の小さいドリル向き ・先端強度が高い ・再研磨が簡単
W型		・重切削用・高硬度鋼用 ・切れ刃のチッピング対策 ・切れ刃強度が高い ・スラストの低減
スリーレーキ型		・刃先精度が良い ・穴精度の向上 ・心厚が厚いドリルや高送りには不向き
高硬度鋼用特殊シンニング (W+R型)		・切れ刃強度が高い ・スラストの低減 ・高硬度鋼加工でのチッピングを抑制



(11) 逃げ角

切れ刃の逃げ面には、ドリルが送り運動を行うために必要な逃げ角が設けられています。ドリルが一回転すると、軸方向に一回転当たりの送り量 f だけ進むため、1.3式によって表される ρ_x が軸方向の最小逃げ角となります。

この時、軸方向の最小逃げ角 ρ_x はドリルの外周から中心に近づくほど大きくなるため注意が必要です。

$$\rho_x = \tan^{-1} \left(\frac{f}{2\pi \cdot r_x} \right) \dots\dots\dots (1.3)$$

ρ_x : 切れ刃各位置における軸方向の最小逃げ角 (°)

f : 一回転当たりの送り量 (mm/rev)

r_x : 切れ刃位置におけるドリル半径 (mm)

JISでは、逃げ角を「外周コーナにおいて、軸直角断面と逃げ面とがなす角」と定義しており、ドリルを軸に直角な方向から見た時の角度を指します。

これに対してISOでは、先端角と平行に切れ刃の延長線上から見た時の角度を逃げ角とする定義があります(図1.3.18)。

逃げ角が過少であると、切れ刃の摩耗の進行が早くなるばかりか、発熱による焼き付きなどのトラブルも生じやすくなります。逆に逃げ角が過大であれば、刃先強度不足によるチッピングや欠けの発生、あるいはびびり振動の原因となります。

図1.3.19に逃げ角と摩耗幅の関係を示します。それぞれの逃げ角のドリルで同一条件にて50穴を加工した後に逃げ面の摩耗幅を測定しています。逃げ角を大きくすると摩耗幅は減少するものの、やがて収束する傾向にあることが分かります。

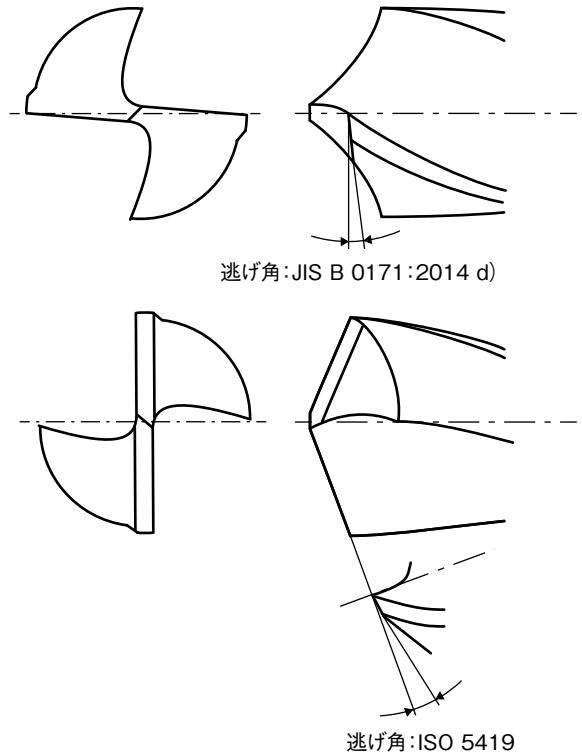
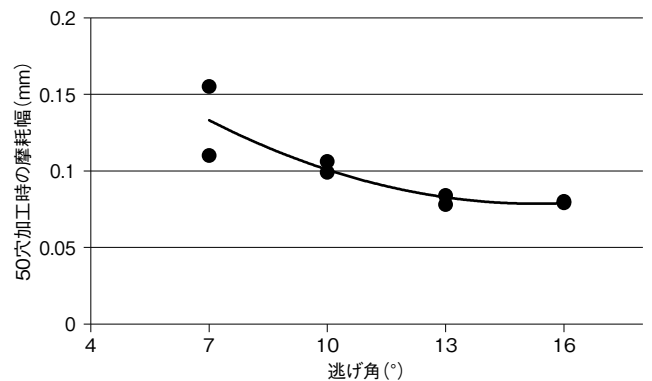


図1.3.18 ドリルの逃げ角

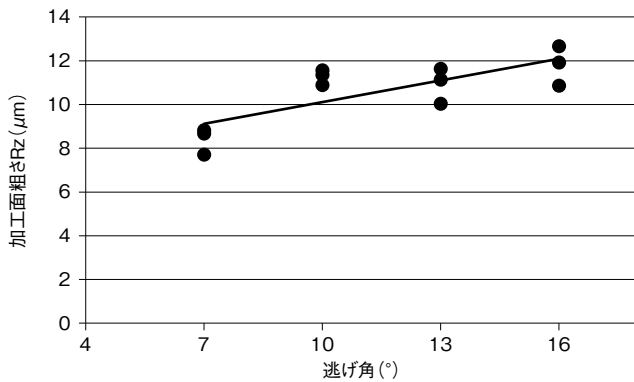


使用工具	油穴付きコーティング超硬ドリルφ10
被削材	S50C
切削速度	80m/min
送り量	0.3mm/rev
穴深さ	50mm(通り)
切削油剤	水溶性切削油剤(内部給油)
クーラント圧	2MPa
使用機械	立形マシニングセンタ(BT40)

図1.3.19 逃げ角と摩耗幅



一方、加工穴の粗さ（穴壁面の表面粗さ）を図1.3.20に示します。2～4 μm と一般のドリル加工では問題とはならない差であるものの、逃げ角の増加に伴い悪化する傾向が見られます。



使用工具	油穴付きコーティング超硬ドリルφ10
被削材	S50C
切削速度	80m/min
送り量	0.3mm/rev
穴深さ	50mm(通り)
切削油剤	水溶性切削油剤(内部給油)
クーラント圧	2MPa
使用機械	立形マシニングセンタ(BT40)

図1.3.20 逃げ角と加工面粗さ

(12) ホーニング

超硬ドリルではチッピング防止のため、図1.3.21に示すような刃先処理を施し、刃先を強化するのが一般的です。この処理のことをホーニングと呼びます。ただし、アルミニウム合金などの軟質材料の加工ではホーニングを施さず、シャープエッジとします。

なお図1.3.22のように平の面取りを施すことを「チャンファ」と呼び、その角を丸めることを「ホーニング」と表現することもあります。さらに図1.3.23のように平の面取りを「チャンファホーニング」、R状の面取りを「丸ホーニング」と呼び、区別することもあります。

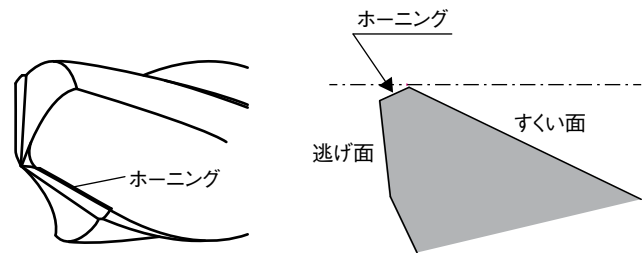


図1.3.21 ホーニング

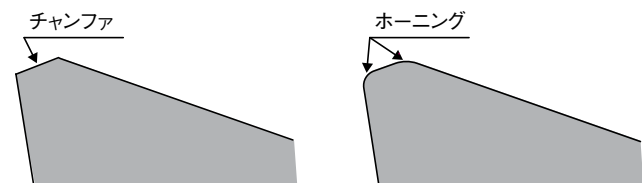


図1.3.22 チャンファとホーニング

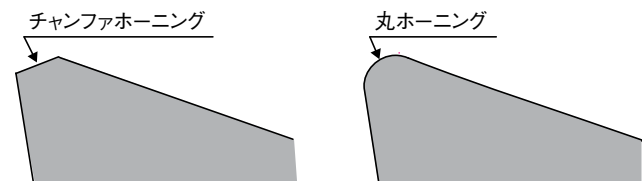


図1.3.23 チャンファホーニングと丸ホーニング



一般に丸ホーニングは刃先強度が非常に高くなりますが切れ味は低下します。一方チャンファホーニングは丸ホーニングに比べ刃先強度は劣りますが、切れ味の低下は少なくなります。ホーニングは鋭利な刃先を殺すので「刃殺し」ともいいますが、殺しすぎたのでは図1.3.24のように切れ刃が摩耗したのと同じよ

うな状態になってしまいます。排出される切りくずは厚くなり、加工寸法が不安定になります。加工変質層も広範囲に及ぶようになり、切削抵抗も増加します。図1.3.25にはチャンファホーニングの幅とスラストの関係を示します。

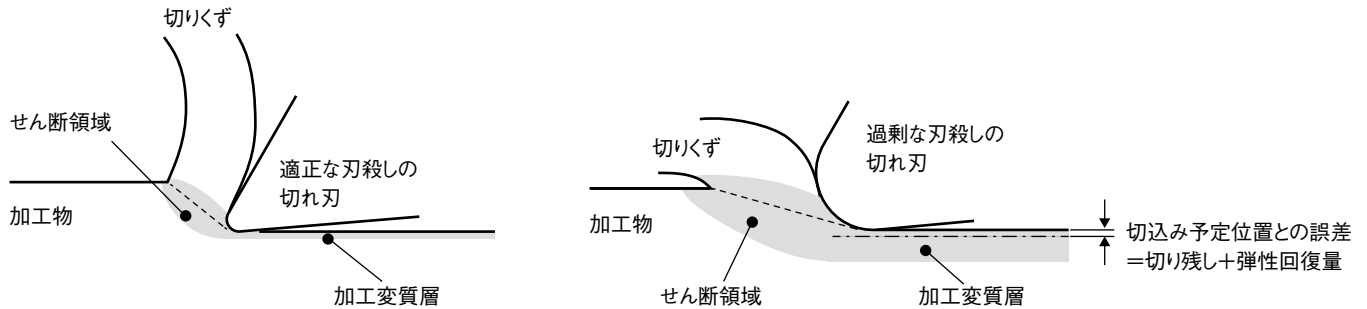
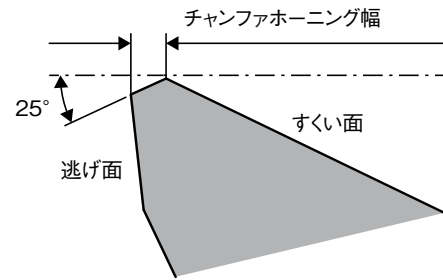
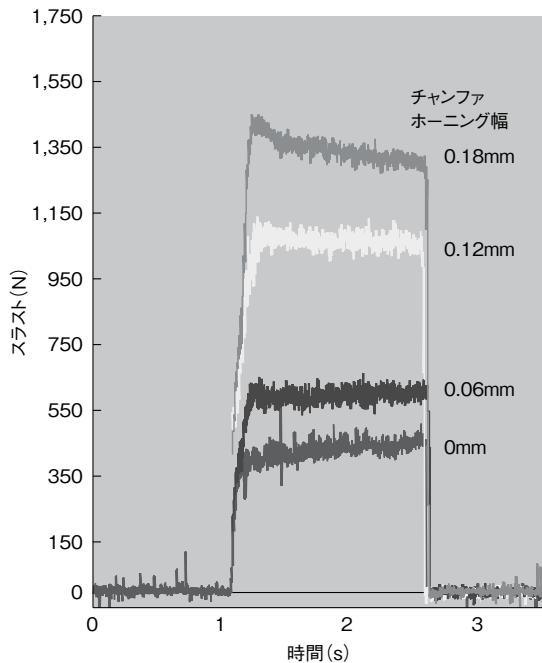


図1.3.24 切れ刃の摩耗と加工面



使用工具	コーティング超硬ドリル(先端角140°)φ6
被削材	S50C
加工方法	ノンステップ加工
切削速度	100m/min
送り量	0.12mm/rev

図1.3.25 チャンファホーニング幅とスラスト

(13)バックテーパ

ドリルの外径には、加工中に穴の壁面とドリル外周が摩擦しないように、先端部から後方に向かって細くなるようにテーパが付けられています。これをバックテーパと呼びます。

一般にバックテーパは100mm 間においてHSS ドリルでは0.04～0.10mm 程度の量が設けられますが、ア

ルミニウム合金などの軟質材料や、加工中に穴の収縮が大きい材料を加工する場合には、バックテーパを大きくすることもあります。しかしバックテーパを大きくしすぎると、ガイド性が低下し穴の曲がりが発生しやすくなります。逆にバックテーパが小さすぎると、穴の締め付けによってトルクが上昇し発熱量が増加します。そのため、ドリルの折損も起きやすくなります。



(14) シャンク

ドリルのシャンクは基本的にストレートシャンクとテーパシャンクに分かれます。

ストレートシャンクをつかむホルダの種類には、

ドリルチャック、キーレスドリルチャック、コレットチャック、ハイドロチャック、サイドロックホルダ、焼きばめホルダなどがあります。テーパシャンクドリルはテーパシャンクホルダを使用します (表1.12)。

表1.12 シャンク形状と把持方法

シャンク		ロ ッ ク 方 式	特 徴
形状	形 状 図		
ス ト レ ー ト シ ヤ ン ク		三つ爪 (ドリルチャック方式)	・取付け、取外しが簡単 ・精度が劣る ・締付けにチャックハンドル (キー) が必要
		三つ爪 (キーレスドリルチャック方式)	・取付け、取外しが簡単 ・ドリルチャックより精度が良い ・締付けにチャックハンドルが不要
		ロール	・精度が良い
		ハイドロ式 (油圧機構)	・精度が大変良い
		ダブルテーパコレット	・締付け力 大 ・剛性 大
		シングルテーパコレット	・シンプルで故障が少ない
		焼きばめ	・精度が大変良い ・加工物等への干渉が少ない ・動的バランスが大変良い
	引ねじ	・締付け力 大	
	シングルサイド	・取付け、取外しが簡単 ・確実にロックできる	
	ダブルサイド	・取付け、取外しが簡単 ・確実にロックできる	
ポジティブ	・取付け、取外しが簡単 ・確実にロックできる		
テ ー パ シ ヤ ン ク	プレーン エンド		・取扱いが簡単
	引ねじ付		・締付け力 大
	タング付		・取付け、取外しが簡単



2. ドリルの材質と表面処理

2-1 ドリルの材質

ドリルの材料で一般的なものは高速度工具鋼(HSS)と超硬合金です。特定の用途、被削材の場合には、cBN

やダイヤモンドを切れ刃にしたドリルも使用されます(図2.1.1)。

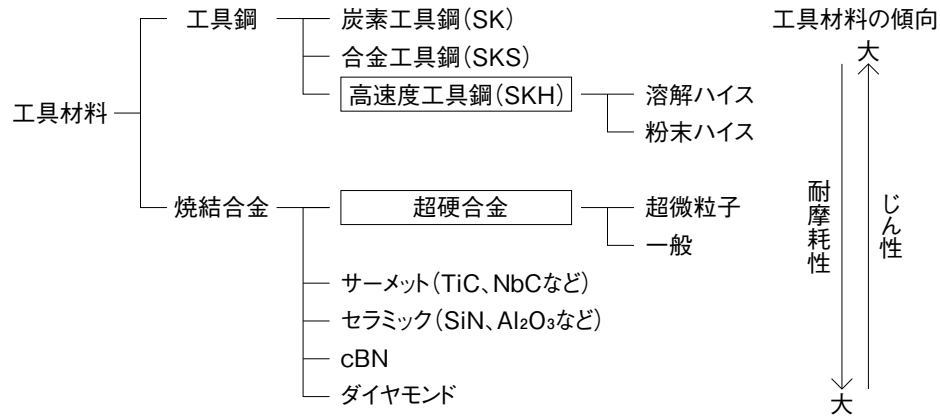


図2.1.1 工具材料の分類

(1) 高速度工具鋼 (HSS ハイス)

高速度工具鋼 (High Speed Steel)は「ハイス」とも呼ばれ、一般にHSSと略記されます。

HSS製汎用ドリルの材料としては、SKH51が広く使用されています。高速、高能率加工を図るためにはコバルトハイスと呼ばれるSKH55、SKH56、SKH59が使用されます。耐摩耗性に優れるSKH57が使われることもあります。また難削材の加工には高バナジウムハイスや、バナジウム(V)の他にコバルト(Co)を含有した粉末ハイスが採用されることもあります。

高速度工具鋼(HSS)ドリルは、じん性が高く欠けにくいために、ボール盤や振動が発生しやすい簡易装置からマシニングセンタやターニングセンタまで幅広い範囲で使用できます。

しかし刃先温度が550℃を超えるような状況下では使用できないため、切削速度には制約が生じます。

表2.1、表2.2にドリルに使用される高速度工具鋼(HSS)の種類ならびに添加される元素の主な効果を紹介します。

表2.1 ドリルに使用される高速度工具鋼の種類

分類		Mo系				V系		CPM	XPM
記号	JIS	SKH51	SKH55	SKH56	SKH59	SKH53	SKH57	SKH10	-
	AISI	M2	M35	M36	M42	M3-2	-	T15	-
硬さ(HRC)		63~	64~	64~	65~	64~	65~	64~	66~
成分(wt%)	C	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	1.25	1.5	-
	W	6.0	6.0	6.0	1.5	6.0	10.0	12.0	-
	Mo	5.0	5.0	5.0	9.5	5.0	3.5	-	-
	Cr	4.0	4.0	4.0	3.8	4.0	4.0	4.0	-
	V	2.0	2.0	2.0	1.2	3.0	3.5	5.0	(5.0)
	Co	-	5.0	8.0	8.0	-	10.0	5.0	(10.0)

wt%= 質量パーセント成分濃度

表2.2 添加される元素とその主な効果

成分	記号	働き
炭素	C	・硬さと切削耐久力を高める
タングステン	W	・高温硬さを高め、耐摩耗性を向上 ・自硬性が弱い
モリブデン	Mo	・Mo1%はW2%に匹敵する効果がある ・じん性を高める ・焼入れ温度を下げる
クロム	Cr	・焼入れ性を良くする ・焼戻し硬化及び高温硬さを高める
バナジウム	V	・耐軟化性を増し、高温硬さを高める ・非常に耐摩耗性に優れる ・被加工性が悪い
コバルト	Co	・高温における耐摩耗性の向上 ・脆い



(2) 超硬合金

超硬合金とは、一般にタングステン (W) と炭素 (C) からなる化合物である炭化タングステン (WC) の粒を、結合材 (バインダ) にコバルト (Co) を使用して焼結したものをいいます。非常に硬く、耐摩耗性に大変優れています。また耐熱性にも優れ、刃先温度が600℃以上の高温下でも硬さの低下が少ないため、切削速度を上げることができます。さらに超硬合金は高速度工具鋼 (HSS) に比べ、たわみにくいので (ヤング率がHSSの約2.5倍) 高い送り速度でも加工精度が向上し

ます。しかし超硬合金は、高速度工具鋼 (HSS) に比べじん性が劣り、刃先のチッピングや欠けが生じやすいために、ボール盤などの剛性の低い機械での使用は不向きです。

超微粒子超硬合金は炭化タングステン (WC) の平均粒径を1μm未満とし、コバルト (Co) の含有量を調整することで、じん性を向上させ、耐チッピング性と耐欠損性を改善した材料です。

超硬合金の分類を表2.3に紹介します。また表2.4に基本的な超硬合金の組成と特性の関係を示します。

表2.3 切削用超硬質工具材料の分類

JIS B 4053 : 2013 表5 より

識別記号	識別色	被削材	分類記号	切削速度	送り量	耐摩耗性	じん性
P	青色	鋼： 鋼、鋳鉄 (オーステナイト系ステンレスを除く)	P01 P05	↑ 高速	↓ 高送り	↑ 高い	↓ 高い
			P10 P15				
			P20 P25				
			P30 P35				
			P40 P45				
			P50				
M	黄色	ステンレス鋼： オーステナイト系、 オーステナイト/フェライト系 ステンレス鋳鋼	M01 M05	↑ 高速	↓ 高送り	↑ 高い	↓ 高い
			M10 M15				
			M20 M25				
			M30 M35				
			M40				
K	赤色	鋳鉄： ねずみ鋳鉄、 球状黒鉛鋳鉄、 可鍛鋳鉄	K01 K05	↑ 高速	↓ 高送り	↑ 高い	↓ 高い
			K10 K15				
			K20 K25				
			K30 K35				
			K40				

表2.4 超硬合金の成分と働き

因子	超硬の性質に与える影響
Coの量	<ul style="list-style-type: none"> 結合材として用いられ、硬さは200HVと柔らかい Coの含有量が多いほど、圧縮強さや縦弾性率は低く、耐衝撃性は高い
WCの粒度	<ul style="list-style-type: none"> Coの含有量を一定とすれば、WCの粒径が小さいほど硬さは高い 曲げ強度はある粒径をピークとして、それより大きくしても小さくしても低下する WCの硬さは、2100HV前後で非常に高い
添加炭化物	<ul style="list-style-type: none"> TiCは硬質で耐熱的にも安定であり、硬さとともに耐摩耗性も向上させる しかし、曲げ強度や耐チッピング性は低下させる TaCはTiCの粒成長を抑制し、耐チッピング性を向上させ、超硬合金の耐酸化性を改善する

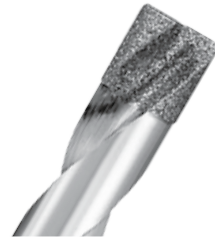


(3) ダイヤモンド

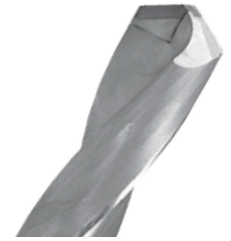
ダイヤモンドは地球上の物質の中で最も硬く、優れた耐摩耗性を有します。熱伝導率にも優れ、化学的にも安定しており、被削材に対する親和性も低いいため、ドリルの材料としても魅力があります（表2.5、図2.1.2）。

ガラスやセラミックスなど脆性材料の穴あけ加工には、ダイヤモンドの粒を切れ刃に電着したドリルが使用されます。他にも、ダイヤモンドの粒を超合金の台金に高温高压で焼き固めたダイヤモンド焼結体（PCD：Polycrystalline Diamond）を切れ刃にしたドリルもあります。PCDドリルも電着ドリルと同じく脆性材料や非鉄金属などの加工に使用されます（図2.1.3）。

また単結晶ダイヤモンドを超合金本体に接合し、刃付けを行った小径ドリルによるセラミックスへの高精度な穴あけ加工を行った研究成果の報告もあります。



ダイヤモンド電着ドリル



ダイヤモンド焼結体(PCD)ドリル

図2.1.3 ダイヤモンドドリルの例

表2.5 ダイヤモンドの特性

ビッカース硬さ	7000 ~ 11500Hv
熱伝導率	20 ~ 23W/cm・K
ヤング率	1050GPa
摩擦係数(空气中)	0.05 ~ 0.15
結晶構造	ダイヤモンド構造

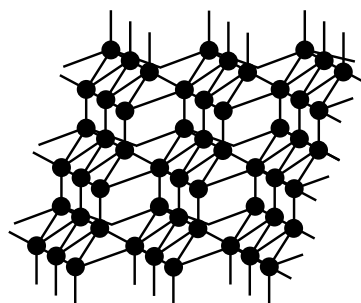


図2.1.2 ダイヤモンドの結晶構造



2-2 ドリルの表面処理

古くから工具鋼製のドリルに施されてきた表面処理として、水蒸気処理、窒化処理（表2.6）があります。それぞれ反凝着性の向上、耐摩耗性の向上を目的としていますが、近年ではその両方に優れ、さらに耐熱性も兼ね備えた硬質皮膜をコーティングする技術が急

速に進歩し、用途に応じた被膜がドリルに施されるようになりました。このコーティング付き超硬ドリルの登場は工具寿命の延長だけでなく、加工能率と加工精度を飛躍的に向上させました。

表2.6 ドリルの表面処理

種類	処理目的	特性	用途
水蒸気処理 (ホモ処理)	反凝着性 向上	<ul style="list-style-type: none"> ・Fe₃O₄の1~3 μm酸化被膜で表面を改質 ・多孔質で切削油剤を保持する ・摩擦係数の減少 ・凝着防止 ・非鉄金属に不向き 	<ul style="list-style-type: none"> ・汎用ステンレス鋼やSS400、S15C等の軟鋼に向き、アルミニウム合金等には不向き
窒化処理	耐摩耗性 向上	<ul style="list-style-type: none"> ・処理層30~50 μm ・表面硬さ1000~1300HV ・耐摩耗性向上 ・素地内部へ浸透させ表層を改質 	<ul style="list-style-type: none"> ・摩滅性の高い被削材 ・鋳鉄 ・熱硬化性樹脂 ・水蒸気処理と組み合わせることも可能

(1)水蒸気処理（ホモ処理）

水蒸気処理（ホモ処理）は500～550℃の水蒸気で鋼を30～60分加熱し、表面にFe₃O₄を生成させるもので、水蒸気皮膜処理とも呼ばれます。酸化被膜の厚さは一般には1～3 μmの範囲となります。この被膜は多孔質のため、切削油剤を保持しやすく、摩擦熱の発生を少なくし、溶着を防止します。したがって溶着を生じやすい柔らかく粘り被削材に有効です。

(2)窒化処理

窒化処理は、処理される鋼を500～600℃に加熱します。そして、鋼の表面層に窒素を拡散させて硬化する処理方法で、高速度工具鋼（HSS）ドリルに適用されます。

表面を硬化させることで耐摩耗性を向上し、摩擦係数を減少させ工具寿命の延長が図られます。アプレシブ摩耗の激しい鋳鉄などの加工では、その対策として古くから用いられてきましたが、欠けが生じやすい断続加工などでは注意が必要です。



(3) コーティング

コーティングは工具の表面にTiN、TiCN、TiAlNなどの硬質化合物、ならびにDLC、ダイヤモンド（表2.7）を薄い膜で被覆する方法です。その処理方法から、CVD（Chemical Vapor Deposition 化学蒸着）法とPVD（Physical Vapor Deposition 物理蒸着）法に大別されます。

CVD法は熱化学反応によって化合物を合成し、それをコーティングする方法です。ダイヤモンドコーティングはこのCVD法で行われます。ただし処理温度が1000℃程度と高いために高速度工具鋼（HSS）ドリルには適用できません。

PVD法は真空中で金属を溶融、蒸発させ、それに反応ガスを導入し、硬質化合物として蒸着させる方法です。PVD法は処理温度が500℃程度とCVD法より低いため、高速度工具鋼（HSS）ドリルにも適用ができません。

コーティング被膜は優れた耐摩耗性、耐熱性、潤滑性を有しており、ドリルの性能向上に大きく寄与します。またこうした被膜を単層で用いるのではなく、特性の異なる膜を多数重ね合わせた複合多層構造やナノ積層構造の膜なども次々に開発されています。

表2.7 コーティング膜に用いられる硬質物質の例

物質名	硬さ (GPa)	摩擦係数	酸化開始温度 (°C)
TiN	20	0.40	500
TiCN	27	0.30	400
CrN	18	0.25	700
TiAlN	28	0.30	800
AlCrN	30	0.25	1000
DLC (SP ³ リッチ)	60	0.10	550
ダイヤモンド	100	0.15	600

数値は代表値を示す



3. ドリル加工の基礎

3-1 切削の基本

加工物よりも硬い切れ刃を加工物に押し込み、不要な部分を切りくずとして分離するのが切削加工です。この過程においては、切りくずとすくい面との間、ならびに逃げ面と加工面との間に摩擦が発生するため、この摩擦を受けながら切れ刃を押し込む力が必要となります。また切りくずは図3.1.1のように変形(せん断変形)を起こしながら生成されますが、この変形を発生させるためにも力が必要となります。

切削の力のほとんどがこれらに消費されますが、実はこのせん断変形に要する力は最も大きく、多量の発熱も伴います。

したがってなるべく小さな力(切削力)で、発熱も抑えて切削を行うためには、このせん断変形の量を少なくすればよいことになります。

図3.1.2に示すようにすくい角が大きくなると、せん断角も大きくなり、これに伴って切りくずのせん断変形の量が少なくなります。すなわち「切れ味がよい」状態となります。

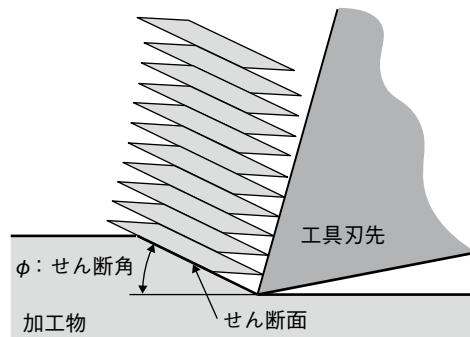
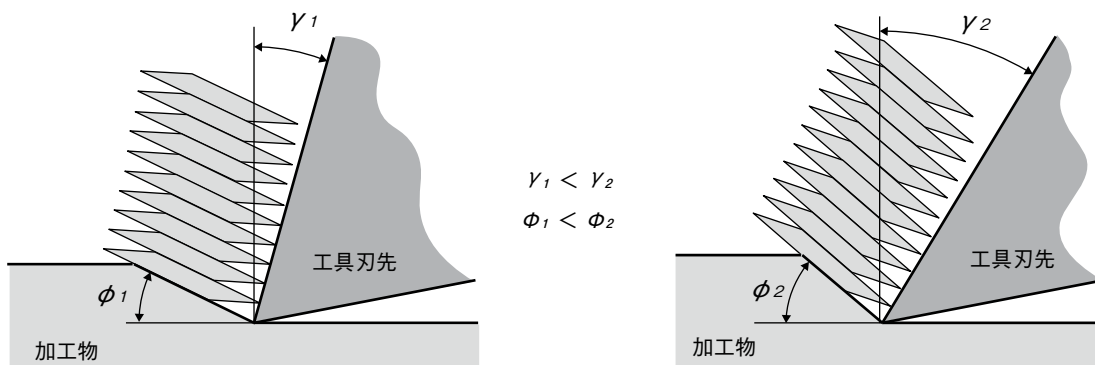


図3.1.1 切削加工におけるせん断模式図



γ_1, γ_2 : すくい角
 ϕ_1, ϕ_2 : せん断角

図3.1.2 すくい角とせん断角



3-2 ドリルの切削機構

ドリル切削の最大の長所は、下穴などの前加工なしで、直径の何倍もの深さの穴を直接加工物にあげられることです。一般にドリルは二つの切れ刃を持ち、回転しながら被削材を切削していきます。そして限られた空間で切りくずの排出を行います。

図3.2.1 にシンニング加工を施していないドリルでの切れ刃各部の切削状況を示します。ドリルのすくい角は外周側から中心に向かうにしたがって小さくなります (1-3 (7)すくい角参照)。チゼル部では、大きな負のすくい角 (鈍角) になっており、チップポケット

(切りくずの収容及び排出を容易にする空間) もなくなります。

またドリルの切削速度は外周の速度で表します。そのため、実際の切削速度は中心に向かうほど小さくなり、理屈の上では中心で0になります。ドリルでは、この切削速度0となる十分な切れ刃を持たないチゼル部から切削がスタートすることになります。チゼル部は被削材に無理やり押し込まれ、くさびを打ち込むかのように被削材を左右に押し開きます。このためチゼル部では極めて大きな力が必要となります。

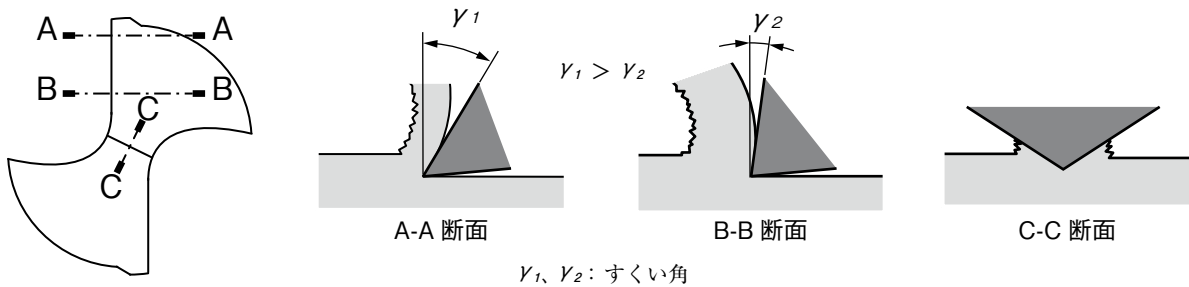


図3.2.1 ドリルの切れ刃各部での切削状況

3-3 ドリルに作用する力

ドリル加工では、3-1で説明した切れ刃に生じる摩擦力や加工面のせん断変形に要する力に加えて、切りくずが排出される際の摩擦、マージンの穴壁面との摩擦などが影響を及ぼします。

これらのすべてが合わさった力が、ドリル加工に要する切削力となります。そしてこの切削力の反作用として逆方向に作用する力を切削抵抗といいます。

ドリルの切削抵抗は図3.3.1のように軸方向と径方向、ならびに回転方向の3方向の分力として作用します。なお径方向の力はドリル軸を対象として、各々の切れ刃に均等に働いたため、基本的には相殺されることとなります。

したがってドリル加工を上手く行うためには、この軸方向と回転方向に作用する力をできるだけ小さくし、その変動を少なくすることが望ましいといえます。

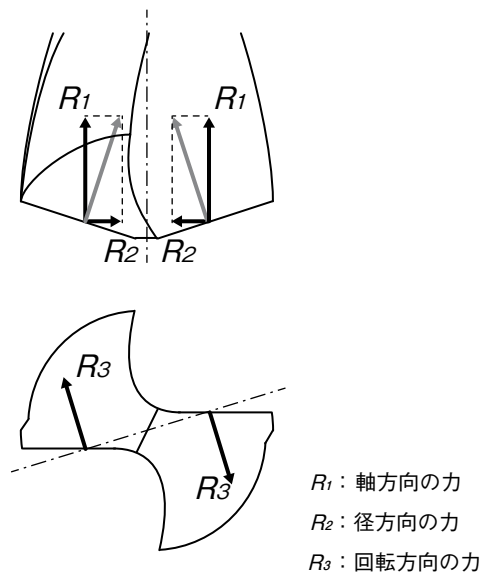


図3.3.1 切削抵抗の3分力



軸方向の力をスラスト、回転方向の力をトルクといいます（図3.3.2）。

スラストはドリルが加工物に入って行くのを妨げるように送り方向とは逆方向に働き、トルクはドリルの回転方向とは逆の方向にドリルをねじるように働きます。

ドリルのスラストはその多くがチゼル部で発生しています。そのためシンニングによってチゼル長さを短くすることでスラストの軽減を図ることができます。図3.3.3にシンニングによるスラストの軽減の様子を示します。

なおスラストとトルクはともに加工時のドリルの直径に比例して大きくなります（図3.3.4）。

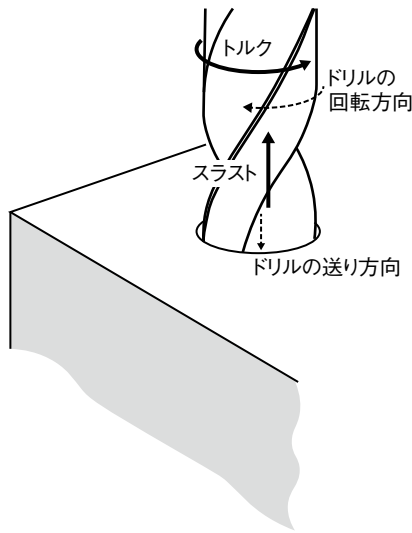


図3.3.2 スラストとトルク

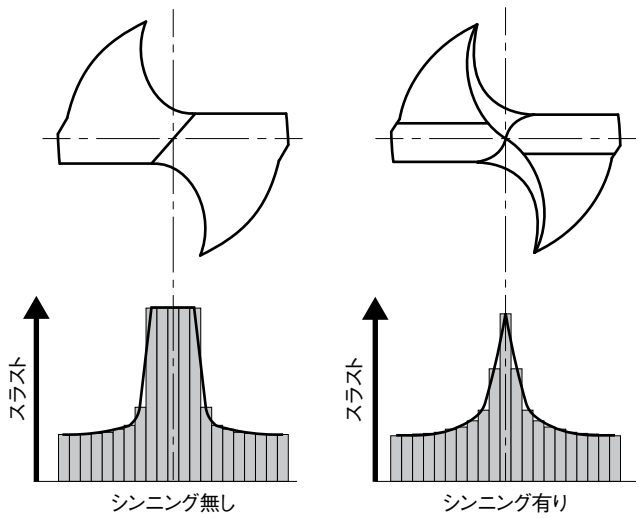
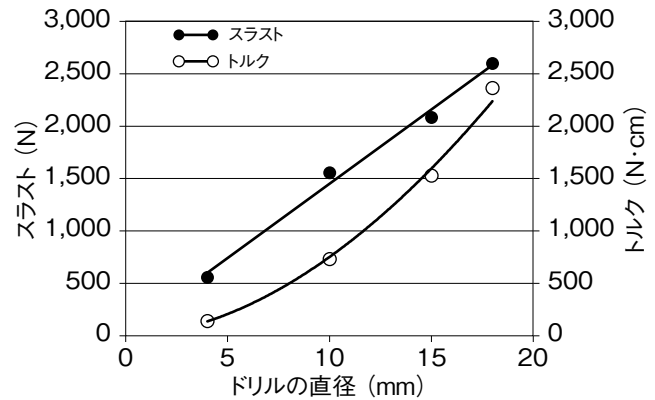


図3.3.3 シンニングによるスラストの軽減



使用工具	コーティング超硬ドリル
被削材	S50C
加工方法	ノンステップ加工
切削速度	60m/min
送り量	0.24mm/rev
切削油剤	水溶性切削油剤

図3.3.4 ドリルの直径とスラスト・トルク



3-4 ドリル加工での切りくず形状

ドリル加工は狭い穴の中で切削を行い、細い溝を通して切りくずを排出しなければならないため、切りくずの形状はドリルの切削性能にとって非常に重要です。切りくず形状はおおよそ図3.4.1のように分類されます。

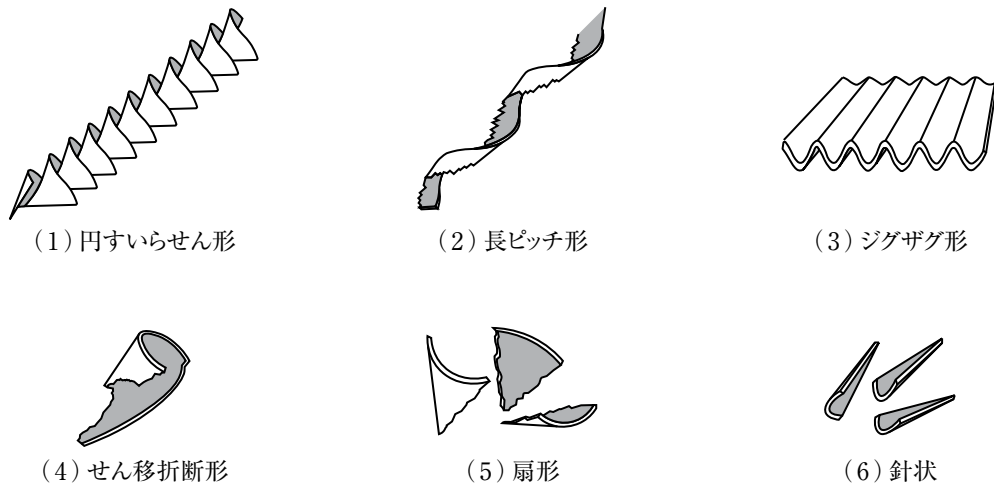


図3.4.1 切りくず形状

(1) 円すいらせん形

ドリル加工における最も基本的な切りくず形状で、切削が安定して連続している状況です。一般的に一般鋼、炭素鋼、合金鋼など多くの被削材でよく見られます。

切れ刃が一回転で削る長さは、回転中心からの距離に比例します。この時切れ刃の各位置で切りくず厚さが仮に同じであれば、切りくずの長さも同じように回転中心からの距離に比例するため、らせん状の切りくずとなります。

切削としては良好な状態ですが、切りくずが工具や機械主軸に巻き付きやすい状態です。ドリルの先端が加工を開始しドリルの肩部が加工物に入り切るまでは、長く連続した切りくずが出ますが、通常その後は一定の巻き数で折れるようになります。送り量を大きくすると切りくずが折れやすくなり、巻き数は少なくなります。

(2) 長ピッチ形

切りくずがドリルの外周側で厚くなることで、らせんの巻きのピッチが非常に長くなった切りくずです。

穴の内壁により切りくずの拘束が厳しくなると、スムーズな流出のために切りくずのらせん軸は溝と平行になろうとします。その結果として長ピッチ形が発生すると考えられています。

加工穴が深い時や、送り量が非常に大きい時に生成されます。純鉄、構造用鋼、オーステナイト系ステンレスなどで発生しやすい切りくずです。

長ピッチ形の切りくずはドリルの溝に付着して、切りくず詰まりを発生させることがあります。また排出された切りくずは巻き付きを起こしやすい形状です。

切削速度を大きくする、送り量を小さくする、あるいはドリルの切れ刃を鋭利にするなどの対策によって切りくずを薄くすると、長ピッチ形の発生を抑制できます。



(3) ジグザグ形

切りくずが流出方向の制約を受けたり、穴の内壁を滑って通過できなかつたりしたことで回転せずに拘束され、その上に後から来た切りくずがたたみ込まれるようにしてできたジグザグ状の切りくずです。

切りくずが薄くて延性の大きな場合に発生します。切りくず詰まりを起こしやすく、ドリルの折損を招くこともあります。

純チタン、チタン合金などでよく見かける切りくずです。内部給油による強制排出が不可欠です。

(4) せん移折断形

円すいらせん形の切りくずが一巻きで破断したような状態の切りくずをいいます。

切りくずが穴の内壁によって拘束を受けると、長く伸びようとする切りくずの根元に曲げモーメントが働きます。その際、切りくずの内側は外側に比べて短いので、引張りの力が働き、外側には圧縮の力が働くと考えられます。切りくずの延性が大きければその状態で流出しますが、延性が小さいと切りくずの内側に割れが生じ、これを起点に破断を起こします。このようにして生成された切りくずがせん移折断形の切りくずです。

従来こうした切りくずが排出される切削条件領域は、切削抵抗や発熱量が大きく、切削抵抗の変動による振動も発生するので好ましくないとされてきました。しかし切りくずの巻き付きが起らないというメリットがあるため、近年では剛性の高い超硬ソリッドドリルなどは、ドリルの先端角を大きくして、厚い切りくずを生成させるとともに、切りくずを拘束する溝断面形状や切りくずの流出方向をコントロールするシンニングを採用するなど、積極的に切りくずを破断させる方法がとられるようになりました。

(5) 扇形

切りくずが穴の内壁に当たった際にすぐ破断を起こし、円すいらせん形になりきれずにできた切りくずです。

鋳鉄の加工で見られる一般的な切りくずです。快削鋼、ダクタイル鋳鉄などでも比較的送り量の大きな時に発生します。

(6) 針状

比較的脆い材料の加工時に、切りくずが加工穴の底部の拘束によって急激にカールさせられ、すぐに破断した時の切りくずです。切りくずの幅に対してカール半径が極端に小さいので針状に見えます。鋳鉄などで送り量が大きな時に見られる切りくずです。

加工穴の底に切りくずが詰まることがあるので、ステップ送り時にドリルを完全に穴から抜く（プログラムコードG83に相当）加工、あるいは内部給油による強制排出が望まれます。



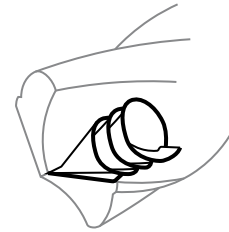
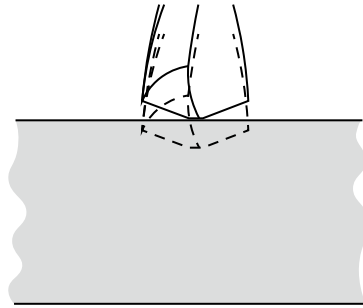
3-5 加工工程での切りくず形状の変化

ドリル加工ではドリルが加工物に接触してから穴の内部に入って行き、(貫通穴の場合は)加工物から抜けるまでの工程をたどります。この時、工程によって切

りくずの形状が変化をします。

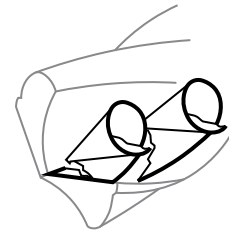
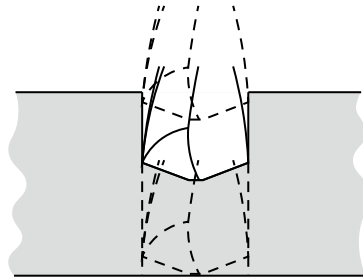
一般的な切りくず形状の変化の様子を図3.5.1 に示します。

① 食付き段階



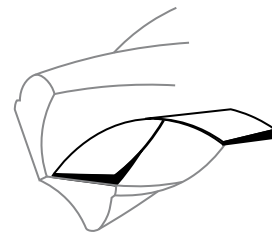
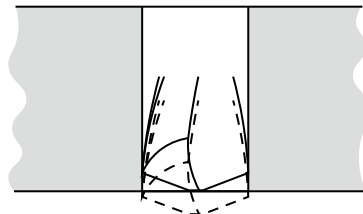
円すいらせん形

② 穴内部での切削段階

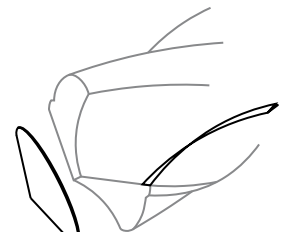


せん移折断形

③ 貫通段階



幅の狭い長く伸びた切りくず



傘形の切りくず

図3.5.1 穴加工工程における切りくず形状の変化

① 食付き段階

ドリルが加工物に接触してから切れ刃全体が切削を開始するまでは、切りくずは自由な空間に排出でき

ます。円すいらせん形の長くつながった状態で排出されます。



② 穴内部での切削段階

切れ刃全体が切削している状態です。穴の入り口を加工している段階では、切りくずはまだ比較的自由的な状態で流出できるので円すいらせん形の短く折れたものが生成されます。

やがて穴が深くなると切りくずの流出方向が拘束を受けようになり、周期的に折れてせん移折断形の切りくずが排出されます（図3.5.2）。

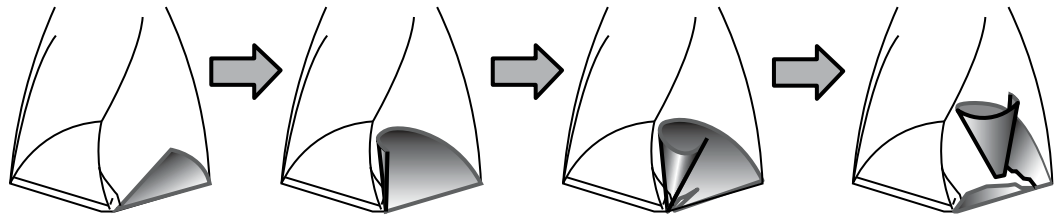
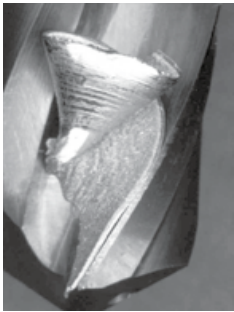


図3.5.2 せん移折断形切りくずの生成過程

③ 貫通段階

チゼル部が加工物を抜け始めると幅の狭い長く伸びた切りくずが排出されます。

ドリルの先端角が大きい場合（ただし180°未満）には、塑性変形によって生成された傘形の切りくずも排出されます。

3-6 各種被削材での切りくず

表3.1 に各種被削材の代表的な切りくずを示します。一般に延性や展性の高い材料では切りくずが破断を生じにくくなります。あるいは破断をしてもせん移折断形とはならなかったり、破断を生ずる切削条件領域が狭くなったりします。

表3.1 各種被削材の代表的な切りくず

軟鋼 (SS400)	炭素鋼 (S50C)	合金鋼 (SCr420)	チタン合金 (Ti-6Al-4V)	インコネル (718)
鋳鉄 (FC250)	ダクタイル鋳鉄 (FCD700)	ステンレス鋼 (SUS304)	銅合金	アルミニウム合金鋳物 (ADC12)



4. ドリルの加工条件

4-1 切削速度

ドリル加工では、ドリルの切れ刃と加工物との相対的な円周方向の速度を切削速度といいます。ただし切れ刃位置によって速度が変わり、回転中心では0となるので、一般に切削速度は、4.1式のようにドリルの直径における速度で表します。

$$V_c = \frac{\pi \cdot DC \cdot n}{1000} \dots\dots\dots (4.1)$$

V_c : 切削速度 (m/min)

DC : ドリルの直径 (mm)

n : 回転速度 (1分間当たりの回転数) (min^{-1})

切削速度が上昇すると他の切削加工同様に発熱量が増加しますが、せん断角は大きくなり切削抵抗の増加を抑制します。そのため一定の値までは切削速度の上昇につれて工具寿命が延長される傾向が見られますが、その後は切削熱の増加に起因する摩耗の進行が早まり工具寿命が低下するようになります。

一般に切削速度と工具寿命の関係は図4.1.1のような傾向となります。

また図4.1.2には切削速度とスラスト、トルクの関係を示します。切削速度が変化しても、スラスト、トルクへの影響はあまり見られません。

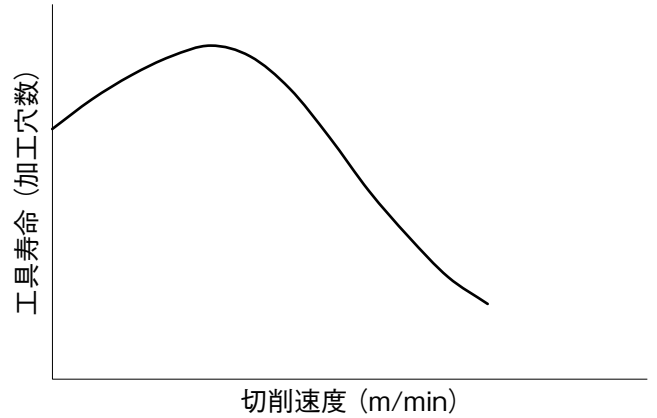
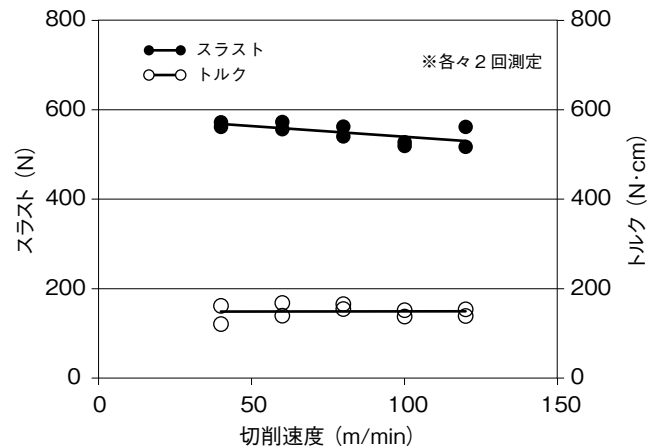


図4.1.1 切削速度と工具寿命の関係



使用工具	コーティング油穴付き超硬ロングドリルφ4
被削材	S50C
送り量	0.24mm/rev

図4.1.2 切削速度と切削抵抗の関係



4-2 送り量

単位時間当たりにおけるドリルの軸方向の移動量のことを送り速度といいます。そしてドリルの一回転当たりの軸方向の移動量を送り量といいます。したがって送り速度と送り量は4.2式のような関係にあります。

$$f = \frac{Vf}{n} \dots\dots\dots (4.2)$$

f : 一回転当たりの送り量 (mm)*

Vf : 送り速度 (mm/min)

n : ドリルの回転速度 (min⁻¹)

* (mm/revで表すこともある)

この送り量が変わると切り厚さが変わるので、生成される切りくずの厚さや形状に影響を及ぼします。

一般に鋼のドリル加工では、送り量の増加によって図4.2.1に示すような切りくず形状の変化が見られます。送り量が小さいと切りくずは長くつながり、円すいらせん形やジグザグ形となります。送り量の増加に伴い切りくずが破断を起こすようになり、やがてせん移折断形の切りくずとなります。さらに送り量を大きくすると、長ピッチ形の厚い切りくずが生成されるようになります。

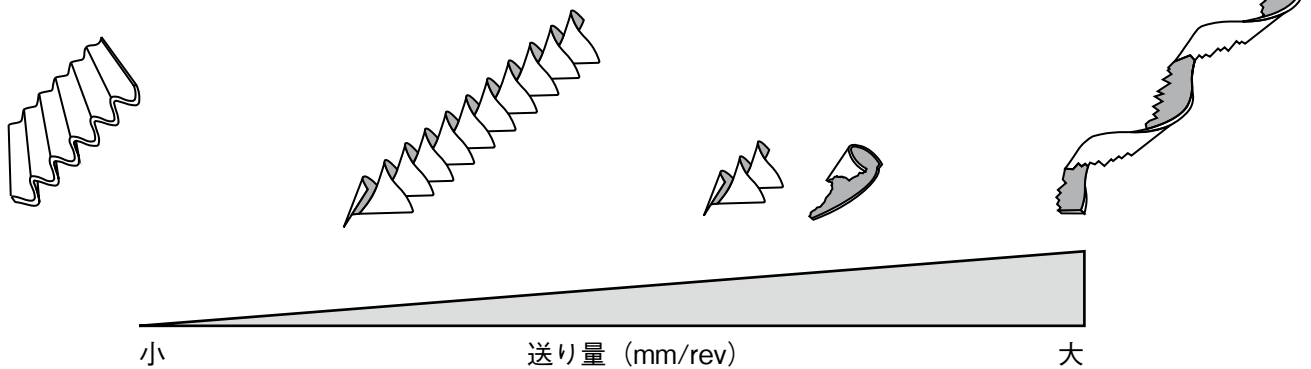
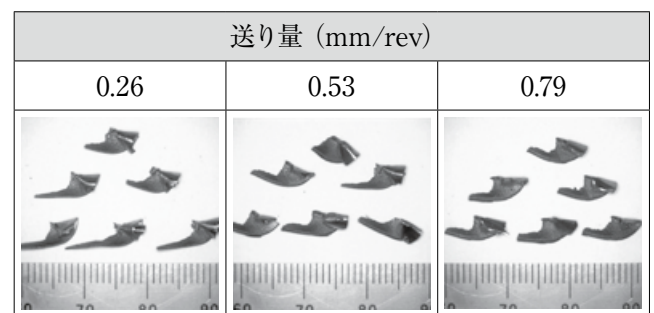


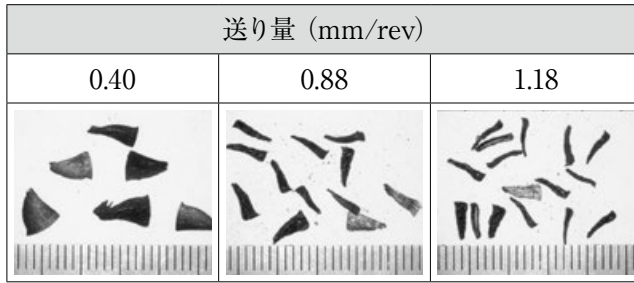
図4.2.1 送り量による一般的な切りくず形状の変化

炭素鋼でのせん移折断形の切りくずの例を図4.2.2に示します。せん移折断形切りくずが生成される領域内においても、送り量の増加に伴って、切りくずの尾の部分が短くなっていくのが分かります。铸铁は送り量が小さな領域でも破断した切りくずが生成されますが、送り量の増加に伴って図4.2.3のように扇形の切りくずが針状形に変化をします。



送り量 (mm/rev)		
0.26	0.53	0.79
使用工具	コーティング油穴付き超硬ドリル φ8.8	
被削材	S50C	
加工方法	ノンステップ加工	
切削速度	100m/min	
切削油剤	水溶性切削油剤	

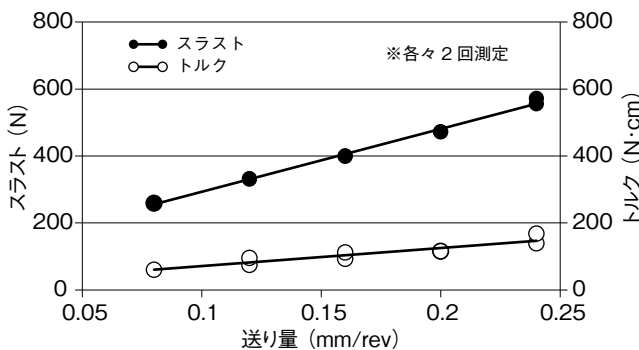
図4.2.2 炭素鋼のせん移折断形切りくず



使用工具	コーティング3枚刃油穴付き超硬ドリルφ14.7
被削材	FC250
加工方法	ノンステップ加工
切削速度	70m/min
切削油剤	水溶性切削油剤

図4.2.3 鋳鉄の切りくず

一方スラスト、トルクと送り量の間には図4.2.4のように強い正の相関があります。そのため送り量を大きくしすぎると増大したスラスト、トルクが振動を発生させ、ドリル切れ刃のチッピングや欠けを誘発します。さらにこれらがドリルの強度を上回れば折損が発生します。



使用工具	コーティング油穴付き超硬ロングドリルφ4
被削材	S50C
切削速度	60m/min

図4.2.4 送り量とスラスト・トルク

工具摩耗は、送り量の増加に伴い同じ加工穴数での機械的擦り摩耗（アブレイブ摩耗）が減少する領域があります。そのため、その領域においては送り量の増加に伴い工具寿命は長くなります。これは同一穴数を加工する際の実質切削長さ（切れ刃が加工面と接触する実際の総距離）が送り量の増加に伴い減少するためです。

しかし一定の値を超えると発熱量が増加し、チップングの誘発なども生じ、次第に工具寿命が低下するようになります。図4.2.5にその一般的な傾向を示します。基本的にはこの工具寿命がピークとなる送り量を選定することが望ましく、逆に送り量が過少であると、チゼル部が加工面に上手く食い込むことができずに加工面をウロウロと移動をしたり、滑りによる摩擦で切れ刃摩耗が増大します。

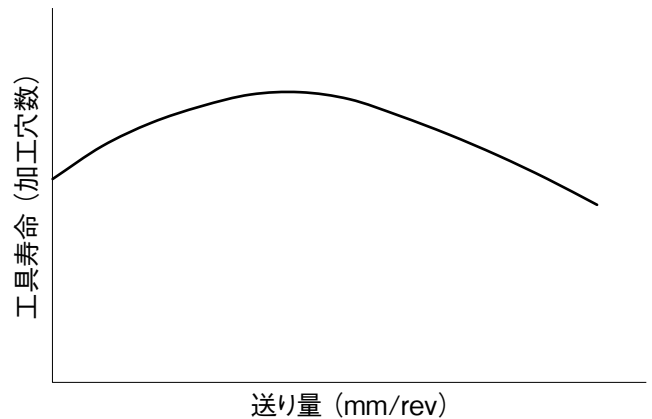


図4.2.5 送り量と工具寿命の関係

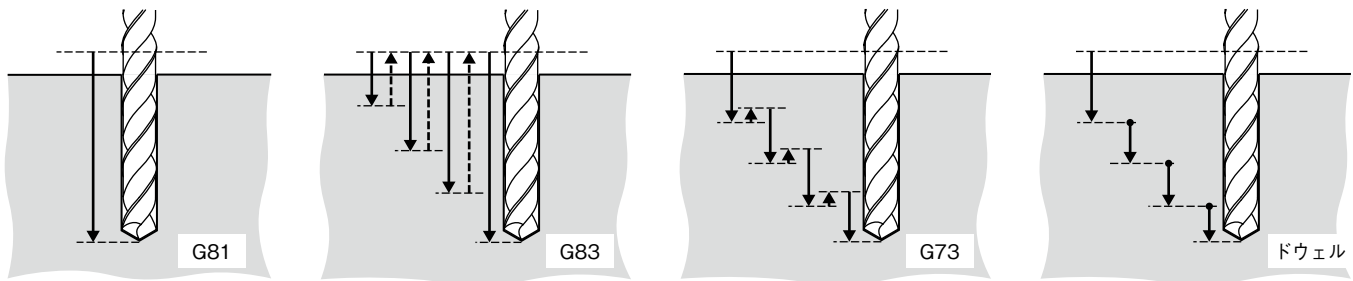


4-3 ステップ送り

ドリルの軸方向の移動のさせ方、すなわち送り方法には、図4.3.1のように一度に所定の穴深さまで切削する方法（プログラムコードG81に相当）の他にドリルを間欠的に送るステップ送りがあります。

例えば、指定の深さだけ切削送りをした後にドリル

を穴の外まで戻し、再び切削送りを行うというサイクルを繰り返す方法（プログラムコードG83に相当）、あるいは指定の深さまで切削送りをした後、少しだけドリルを後退させて再び切削送りを行う方法（プログラムコードG73に相当）などがあります。



一般に $4 \times DC \sim 5 \times DC$ 以下の穴深さで採用される。

一般に $4 \times DC \sim 5 \times DC$ を超える穴深さのレギュラドリル加工で採用される。ドリルの溝内に収納された切りくずが切削油剤で洗い流されるため、切りくず排出性が大きく向上する。

ガイド穴が必要とされるロングドリルでの深穴加工で採用される。レギュラドリルでのステップ送りによる穴壁面とドリルコーナ部の摩擦を軽減したい時に採用される。ステップ送りによる加工時間の増加を最小限に抑えるために採用される。

チップング対策として採用される。衝撃は緩和されるが摩擦による摩擦や発熱が増加する。

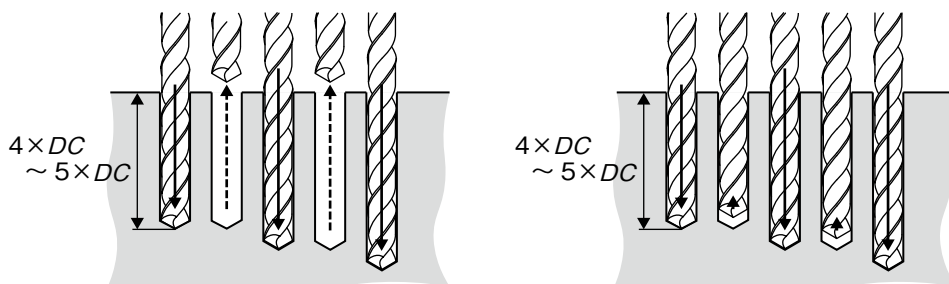
図4.3.1 ドリルの送り方法

ステップ送りは切りくずを短く分断するので加工物や治具、ドリルへの切りくずの巻き付きを防止すると同時に、加工点への切削油剤の供給を助けます。さらにドリルを穴の外まで戻せばドリルの溝に収納された切りくずをしっかりと切削油によって洗い流すという効果も生まれます。

しかし反面、ドリルが加工面にぶつかる衝撃を何度も繰り返すとともに、加工済みの穴壁面を擦るようになるため、切れ刃のチップングや、摩擦による摩擦の

増加、発熱の増加をもたらすことになります。また加工のサイクルタイムも長くなるので、不必要なステップ送りは避けるべきです。

そうしたことへの対応例として図4.3.2に紹介するようなステップ送りの方法があります。ドリル直径の4～5倍の深さまでは一度に加工をし、その後にステップ送りを始めるようにします。こうすることで、加工穴が浅い間の不必要なステップ送りを無くすことができます。



DC：ドリルの直径 (mm)

図4.3.2 ステップ送りの改善例



4-4 切削油剤







ドリル加工における切削油剤の主な役割は、高温下での切れ刃硬さの低下を防止する冷却作用、ならびに切りくずの強制排出、および摩擦を軽減する潤滑作用です。

さらに切りくずの表面は、酸化物などの汚れがほとんどない新生面で、化学的に活性な状態にあります。切りくずによって擦られるドリルの切れ刃のすくい面も同じように清浄です。このため常に凝着が発生しやすい状態といえます。切削油剤はこのような状態の切りくずとすくい面の間に入り込んで、凝着を防止する役割もあります。特に油穴による切削油剤の供給（内部給油）は、

ドリル加工において非常に大きな効果をもたらします。油穴による内部給油では、切れ刃の切削ポイント付近に高い圧力で切削油剤を集中供給できるため、切れ刃や切りくずの素早い冷却が可能となります。例えば延性の大きな材料の加工であっても、生成される切りくずを素早く冷却することで破断を発生しやすくすることができます。

表4.4 にチタン合金での、外部給油と内部給油それぞれにおける切りくずの比較を示します。内部給油による冷却効果の優位性がよく分かります。

表4.4 切削油剤の給油方法と切りくず形状

送り量 (mm/rev)	0.06	0.09	0.12
外部給油			
内部給油 (クーラント圧：3MPa)			

使用工具	コーティング超硬ドリルφ6.1
被削材	チタン合金(Ti-6Al-4V)
加工方法	ノンステップ加工

切削速度	20m/min
穴深さ	10mm(通り)
切削油剤	水溶性切削油剤(10倍希釈)
使用機械	横形マシニングセンタ(BT40)

また油穴を流れる切削油剤は、ドリル本体を内部からも冷却することができます。このことは、切れ刃の熱をドリル本体からも冷却することになります。さらに切りくずを直ちに切削点から排除し、穴の外へ強制排出させるので、切りくず詰まりを解消するとともに、切りくずの持つ熱が加工物に流入するのを軽減します。

このように内部給油はドリルの性能を大きく向上させ、高能率加工・工具寿命の大幅な延長を可能とします。しかしその反面、切削油剤の供給圧力を生み出すための電力消費や劣化した切削油剤の処分などが必要で、近年高まる環境負荷の軽減対応としては課題が残ることは否めません。

そうした中でMQL (Minimum Quantity Lubrication:

微量潤滑)はこうした課題解決のためのひとつの方法といえます。潤滑効果の非常に大きな油剤をごく微量ミスト状にして供給することで、潤滑性を大きく高めようとする方法です。強制冷却効果は望めませんが、潤滑性の向上によって発熱を抑制することはできます。MQLの優れた潤滑効果によって切りくず形状が安定するとの報告もあります。

MQLはすべてのドリル加工に有効という訳にはいきませんが、もともと発熱量の少ない加工や、潤滑効果によって切削点付近の発熱が十分に低減される条件下の加工などでは大いに期待できる手法といえるでしょう。



6. 加工穴の品位

ドリルの径方向の力は基本的には相殺されるため、ドリルを横にずらすような力は働かず、回転の軌跡が穴形状として転写されます。しかし実際には、加工穴が拡大したり、穴が曲がったりするような現象に遭遇します。

6-1 穴の拡大

加工した穴の直径とドリルの直径（一般にはドリルの呼称寸法）との差を拡大代といいます。穴の拡大は加工中のドリルの振れ回りや振動によって発生します。一般にドリル加工では表6.1に示す程度の拡大代が発生しますが、チゼルエッジの偏心（ドリルの中心）と、リップハイト（ドリルを回転した時の各切れ刃間の高さの差）、ドリル取付け時の振れ（図6.1.1）が大きくなると、この値を超える拡大代となります。これはドリルの径方向の力の均衡がくずれ、振動や振れ回りが大きくなるためです。

表6.1 一般的な穴の拡大代

ドリルの種類	拡大代の目安（ドリル直径φ3以上にて）
一般HSSドリル	ドリル直径の1.0% ～ ドリル直径の1.5%
高剛性HSSドリル（シンニング有り）	0.03mm ～ 0.08mm
超硬ソリッドドリル（シンニング有り）	0.01mm ～ 0.06mm
超硬インデキサブルドリル	0.10mm ～ 0.20mm

注) 拡大代を保証するものではなく、概ねの目安を示すものです。

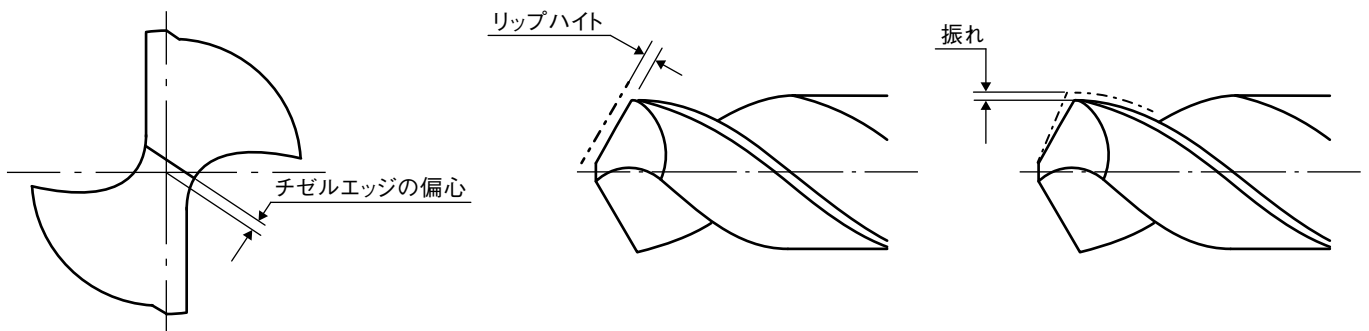


図6.1.1 ドリルの精度



図6.1.2 にリップハイトが拡大代に及ぼす影響を、
図6.1.3 にはドリルの取付け時の振れの影響をそれぞれ示します。

使用工具	コーティングHSSドリルスタブ形 (ルーマ形) φ1.15
被削材	S45C
加工方法	ノンステップ加工
切削速度	30m/min
送り量	0.04mm/rev
穴深さ	5mm(止り)
切削油剤	水溶性切削油剤
使用機械	立形マシニングセンタ

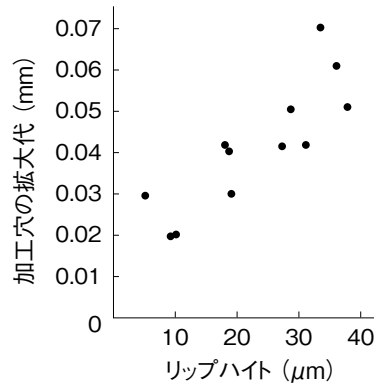


図6.1.2 リップハイトと穴の拡大代

使用工具	コーティングHSSドリルレギュラ形 (ルーマ形) φ6.8
被削材	S45C
加工方法	ノンステップ加工
切削速度	30m/min
送り量	0.2mm/rev
穴深さ	25mm(通り)
切削油剤	水溶性切削油剤
使用機械	立形マシニングセンタ

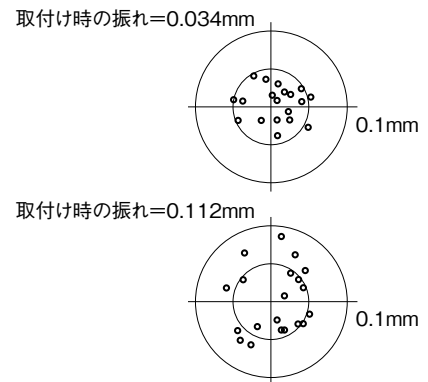
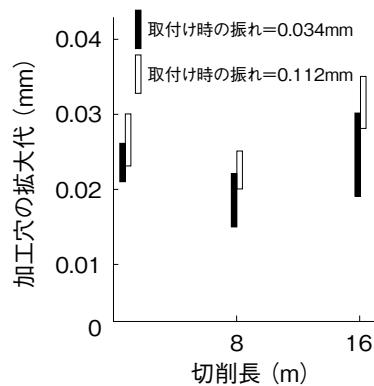


図6.1.3 取付け時の振れの影響

6-2 穴の位置精度

穴の位置精度とは、予定した穴の位置と実際に加工した穴の位置との差のことです。ドリルのチゼル部が加工面に上手く食付けず、ウロウロと歩き回る歩行現象(ウォーキング)が起こると位置精度は悪くなります。過少送りの際に生じやすい現象です。もちろん図6.1.3のようにドリル取付け時の振れが大きい場合も穴位置精度は悪くなります。また斜面や曲面への穴加工では、ドリルの径方向の力が不均衡となるために、ドリルが逃げ勝手方向にたわみを生じ、穴の位置精度を悪化させます。先にエンドミルで座ぐり加工をしておく、あるいは径方向の切削抵抗分力が小さくなる先端角180°のドリル(フラットドリル)を使用するなどの対応が望まれます。

6-3 穴の傾き、曲がり(真直度)

加工図面で真直度として示されるのが穴の傾き、曲がりの許容値のことです。工具剛性が低くなる小径ドリルやロングドリルでは、穴の傾き、曲がりが問題となりやすい現象です。穴の抜け側が傾斜面のような場合も、ドリルの径方向に働く力の不均衡が生じ、穴の曲がりを招きやすくなります。

剛性の高い短いドリルで先に加工をし、その穴をガイドとして正規の長さのドリルで残りを加工する、ドリルの抜け際に送り量を下げるなどの対応を行います。



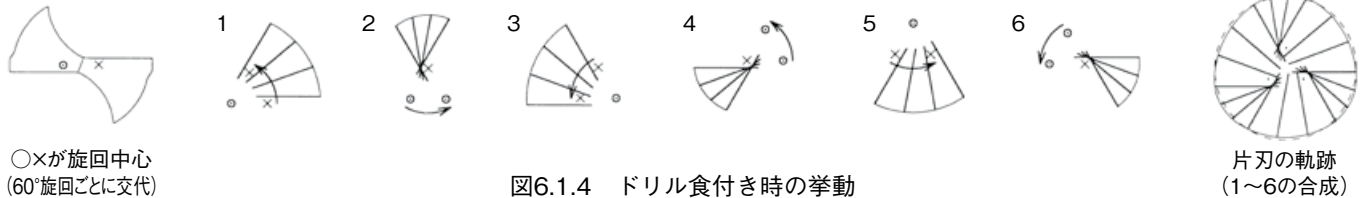
6-4 真円度

完全な円に対してどれだけ外れているかを示すのが真円度です。二つの同心円の間領域が真円度の公差の範囲となります。ドリルの加工では振れ回りやたわみによってある程度の変形が発生します。

よく見られるのが穴の形状が三角形や五角形になる現象です。ドリルのチゼルエッジが加工面に接触すると

ドリルは最も剛性の低い方向にたわみを生じます。これによって回転中心がチゼル上を移動するよう動きになります。図6.1.4のように回転中心が60°ごとに交互に移動すると三角形の穴が加工されます。

先述したように過少送りの際に発生しやすく送り上げると収まる傾向にあります（図6.1.5）。



使用工具	コーティングHSSロングドリルφ8×15D
被削材	SS400
切削速度	22.6m/min (900min ⁻¹)
送り量	0.05~0.4mm/rev
切削油剤	水溶性切削油剤
使用機械	立形マシニングセンタ (BT30)

送り量	0.05 mm/rev (45 mm/min)	0.16 mm/rev (145 mm/min)	0.28 mm/rev (250 mm/min)	0.40 mm/rev (360 mm/min)
穴形状				

図6.1.5 送り量と食付き時の穴形状

三角形の穴が加工されると、切削荷の変動が発生します。この変動は回転中心の移動を招きます。このように変動が次から次へと繰り返されると、穴の壁面にはらせん状の筋が入るライフリング（図6.1.6）と呼ばれる現象が現れます。このらせん状の筋をライフリングマークともいいます。

ライフリングを防ぐためには、過少送りを避ける以外に、ドリルの取付け時の振れを押さえる、剛性の高いドリルを使用する、シンニングを施すなどの対策が有効です。

図6.1.7のようにドリルの切れ刃にニックと呼ばれる凹みを追加工する方法もあります。ニックはドリルの横方向への移動を拘束するので、真円度が向上しライフリングを防止します。

ただし切りくずは穴壁面の拘束が緩和され、鋼切削では長ピッチ形の切りくずが排出されるようになります。巻き付きを起こさないよう十分注意する必要があります。



図6.1.6 ライフリング

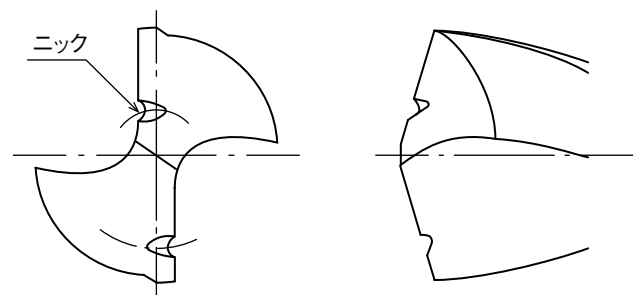


図6.1.7 ニック付き切れ刃の例



6-5 ばり

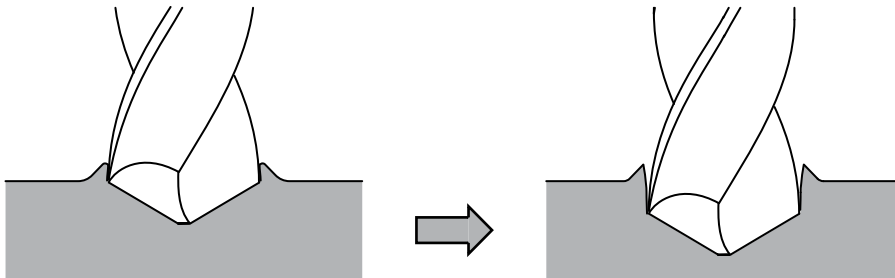
「ばり (burr)とは、かどのエッジにおける、幾何学的な形状の外側の残留物で、機械加工または成形工程における部品上の残留物。」とJIS B 0052:2004では定義されています。実はカタカナ表記ではなくひらがなで「ばり」と表記されています。

ドリル加工を行うと、穴の入口側、あるいは出口側にばりが発生することがあります。特に延性に富む材料や薄板の加工では顕著に見られます。入口側、出口側それぞれのばりの発生過程を図6.1.8に示します。

ばりの発生を抑制するためには切削力を小さくすることが基本となります。切削力を小さくするには、

送り量を小さくする（入口と出口付近での送り量を小さくする）、切削速度を上げてせん断角を大きくする（せん断変形量を小さくし切りくずを薄くする）などの対応方法があります。

あるいは加工材料を切削油剤などによって十分な冷却を行うことも有効な手段です。金属材料の多くは高温では延性が大きくなり、十分な塑性変形をしてから破壊（延性破棄）を起こします。これがばりの発生につながります。したがってしっかり冷却をすることで塑性変形を抑制すれば、ばりの発生を抑えることができます。

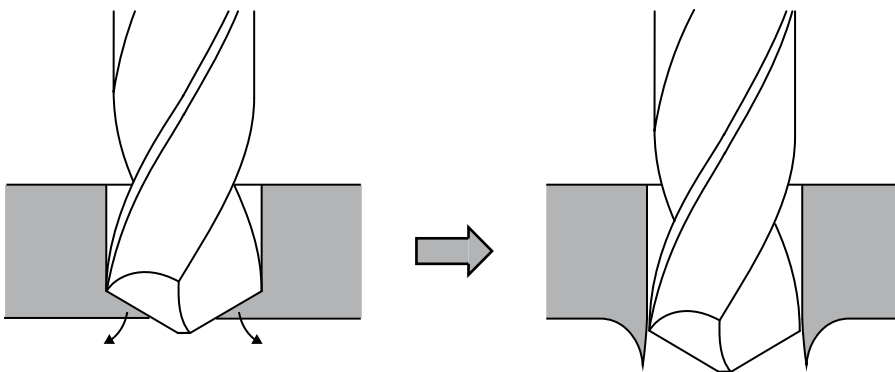


加工物の表面がドリルコーナ付近で塑性変形を生じ、半径方向に流れる。その一部は切りくずと一緒に引きちぎられるが、残った部分がばりとなる。

穴の入口でのばり発生過程



穴の入口に発生するばりの例



ドリルの抜け際に加工物の表層で塑性変形が生じてロールオーバー(曲げ)によって外にはみ出した部分が削り残されてばりとなる。

穴の出口でのばり発生過程



穴の出口に発生するばりの例

図6.1.8 ばりの発生過程



また表6.2のようにドリルの先端形状を工夫することでも、ばりを抑制することができます。実際に抜けばり抑制を試みた事例を表6.3に紹介します。

このようなパイプ形状の加工では、先端角180°（フラットドリル）、あるいは段付き角180°の場合が最もばりの抑制効果が見られました。

表6.2 ばりを抑制するドリルの先端形状

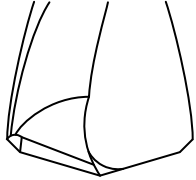
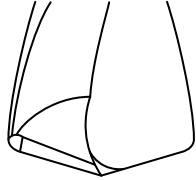
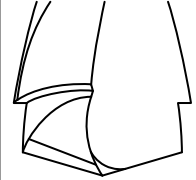
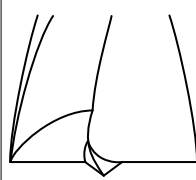
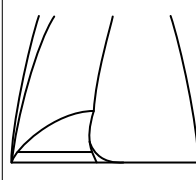
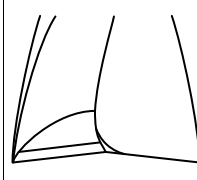
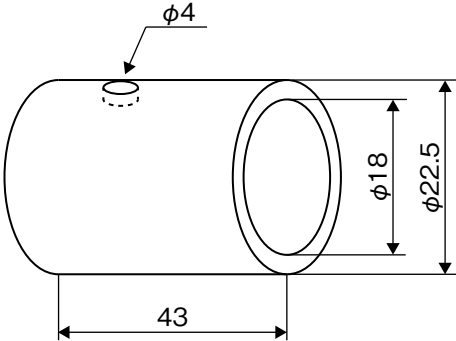
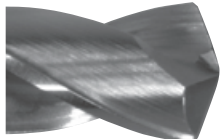
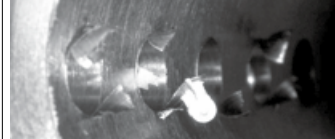
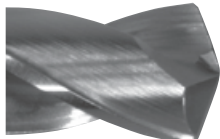


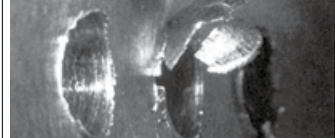
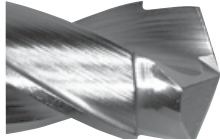
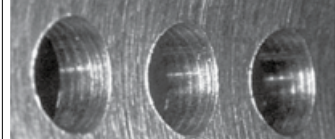

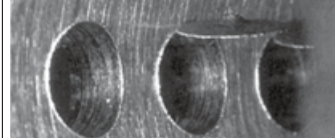
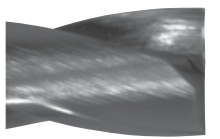
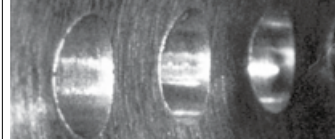
形状						
仕様	コーナ部に先端角の小さな切れ刃(コーナ面取り)を設ける	コーナ部にR状の切れ刃(コーナR)を設ける	段付き形状にして穴仕上げ用切れ刃を設ける	ろうそく研ぎを行う	先端角を大きくする 先端角を180°とする	軸心に向かって中低となるようにする

表6.3 ドリルの先端形状と抜けばりの状態

加工環境	ドリル仕様		抜けばりの状態
 <p>使用工具：コーティング超硬ドリル φ4 被削材：合金鋼 切削油剤：水溶性切削油剤</p>	先端角 140° 標準形状		
	コーナ面取り C0.1		
	段付き角 140° (先端直径 φ3.5)		
	段付き角 180° (先端直径 φ3.5)		
	ろうそく研ぎ		
	先端角 180° (フラット)		

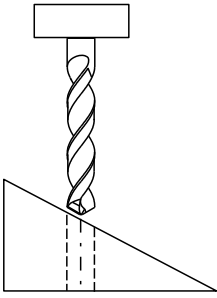
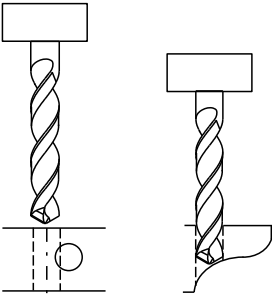
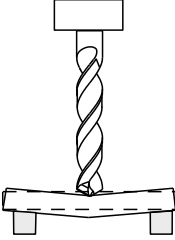
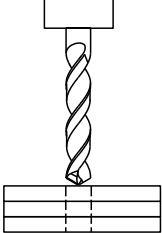
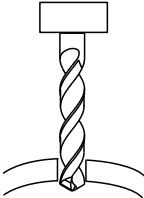


7. ドリル使いこなしのポイント

7-1 特殊な穴あけ加工

断続切削が発生する穴や切削状態が不安定となる特殊な穴の加工を行う場合の注意点を表7.1 に示します。

表7.1 特殊な穴加工の留意点

穴あけの形態		加工のポイント
斜面や曲面への 穴加工		<ul style="list-style-type: none"> ・座ぐり加工をする ・センタドリル、スターティングドリルなどでセンタリングをする ・ガイドブッシュを使用する ・剛性の高いドリルを使用する(スタブドリル、超硬ドリル) ・フラットドリル(先端角180°)を使用する ・送り量を下げる
干渉穴、抜け側が 非対称		<ul style="list-style-type: none"> ・剛性の高いドリルを使用する(スタブドリル、超硬ドリル) ・ダブルマージンドリルを使用する ・先端角の大きなドリルを使用する ・フラットドリル(先端角180°)を使用する ・送り量を下げる ・穴に加工物と同じ材料を詰める ・抜け側に加工物と同じ材料を当てる
薄板の穴あけ		<ul style="list-style-type: none"> ・捨て板を当てて加工する ・フラットドリル(先端角180°)を使用する ・段付きドリルを使用する ・ろうそく研ぎドリルを使用する ・送り量を下げる
重ね板の穴あけ		<ul style="list-style-type: none"> ・フラットドリル(先端角180°)を使用する ・ろうそく研ぎドリルを使用する ・ステップ送りをする ・送り量を下げる
パイプの穴あけ		<ul style="list-style-type: none"> ・フラットドリル(先端角180°)を使用する ・ろうそく研ぎドリルを使用する ・段付きドリルを使用する



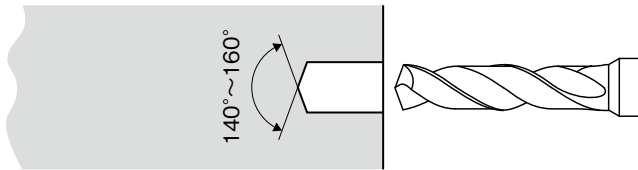
7-2 ロングドリルでの深穴加工

(1) 推奨加工方法

ロングドリルで深穴加工を行う場合は、ガイド穴の前加工が必要となります。図7.2.1 に深穴用超硬ロングドリルでの加工工程の一例を示します。

高精度な前加工を行うことが深穴加工の重要なポイントとなります。前加工には剛性の高い超硬スタブドリルやガイド穴加工用ドリルを使用してください。なお、深穴用ロングドリルは溝長・全長ともに長く工具剛性が低いため、振れの発生には十分注意をしてください。

①ガイド穴の加工

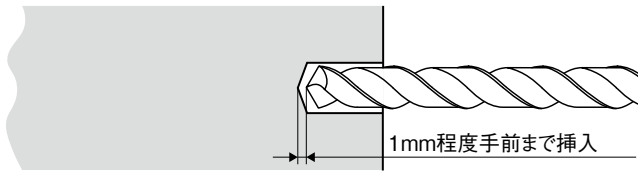


ガイド穴を加工するドリルは、加工穴の直径より0.02～0.08mm程度大きな直径のドリルを選定する。

ガイド穴の深さは、 $1 \times DC \sim 3 \times DC$ を目安とする。

※DC はドリルの直径

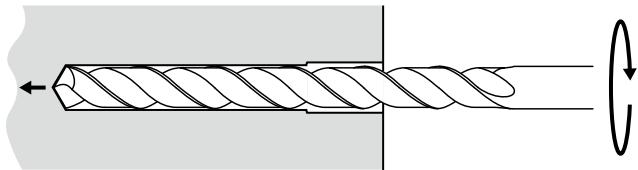
②ロングドリルの低回転挿入



ガイド穴の底近くまで回転速度 (n)=300～500 min^{-1} 程度、送り速度 (V_f)=300～500 mm/min で挿入する。40×DC～50×DC深さ対応のドリルの場合は逆回転で挿入する。

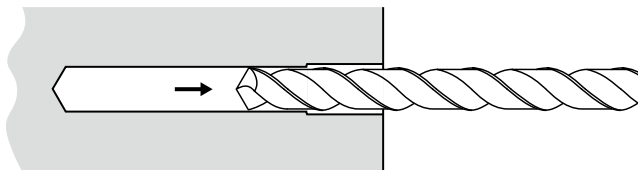
回転停止ではなく低速回転で挿入することでドリルの肩部を痛めることなく挿入できる。

③ロングドリル加工スタート



切削油剤の供給を開始し、所定の回転速度まで回転を上げ加工をスタートする。

④加工後



加工が完了したら、穴の底からロングドリルを離し、回転速度 (n)=300～500 min^{-1} (正回転)に下げた後に、送り速度 (V_f)=1000～3000 mm/min 程度で引き抜く。

図7.2.1 深穴用超硬ロングドリルの加工工程例

(2) ロングドリルの使用上の注意

図7.2.2のような湾曲部を加工する時は、ガイド穴加工前に座ぐり加工用エンドミルや超硬フラットドリルにて座ぐり加工を行ってください。

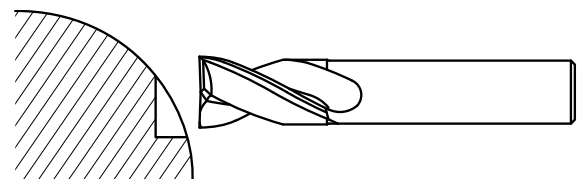


図7.2.2 湾曲部での前加工



また図7.2.3のように、工具の取付け時の振れは回転速度が上がるにつれて動的振れが大きくなります。そのためロングドリルをパイロット穴に挿入する際、パイロット穴に納まらなくなる危険性が高まります。

従って、静的な振れの抑制のみならずパイロット穴加工用ドリルの直径は「 $DC + 0.08\text{mm}$ 程度以下」とし、「ロングドリルを低回転で挿入」する加工方法が有効です。

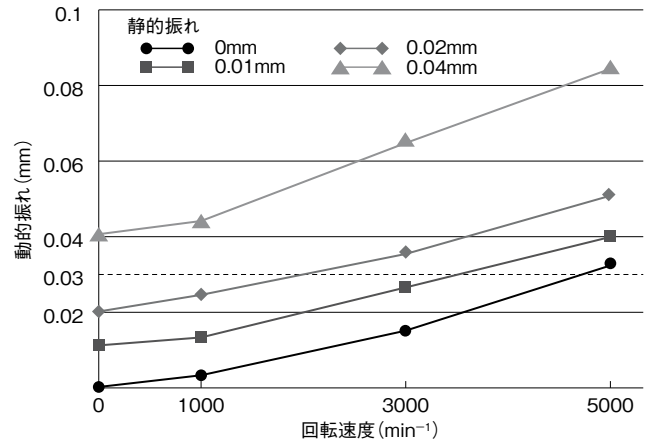


図7.2.3 回転速度と動的振れの関係

7-3 切りくずの観察

加工中に生成される切りくずと加工条件の関係などについては、3-4、3-5、3-6の項で説明しましたが、さらにドリルを使いこなすために知っておくと便利な切りくず観察のポイントを紹介します。

(1) 異常を知らせる切りくず形状

切りくず詰まりなど明らかな異常は分かりやすいですが、切りくずのわずかな変化は見逃しがちです。しかしそうした変化の中に、異常が隠されていることがあります。表7.2にそうした切りくずの代表例を紹介します。

表7.2 注意すべき切りくずの例

切りくず形状	発生原因	主な対応
	ドリルが振れ回りをすることで、マージン部での余分な切削が行われている	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリルの取付け時の振れをなくす ・リップハイトを小さくする ・回転速度を下げる
	欠けが原因で、局部的に切削厚さが薄くなった部分の切りくずが分離して、糸のようになって排出される	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリルを交換する ・欠けの発生したドリルを再研削する ・頻繁に発生する場合は送り量を下げる
	ホーニング幅が大きいため、切りくずを折りたたむような現象が起きている	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリルを交換する ・ドリルを再研削してホーニング幅を小さくする



切りくずにトゲのような突起が見られる場合は、ドリルの振れが大きい場合です。振れ回りによって外周のマージン部が余分の切削を行っています。この余分な切削によってトゲのような突起が発生します。ドリルの取付け時の振れ、リップハイトを確認してください。

糸のように細い切りくずが、通常の切りくずに混じって排出される場合は、切れ刃に欠けが発生している可能性があります。欠けによって刃先が後退し、局部的に切取り厚さが薄くなることに起因します。当然その部分では切りくず厚さも薄くなります。この薄くなった部分が周りの切りくずと分離してしまうことで糸状の切りくずとなります。このような切りくずが排出されたら、刃先の欠けを確認してください。

再研削後のドリルで切削初期から厚いジグザグ形の切りくずが排出される、従来切りくずの破断が起きていた送り量では破断が起きにくくなり、送り量を大きくすると破断が起きるようになるといった場合は、切れ刃のホーニング幅が大きすぎて、切りくずを折りたたむような作用が働いていると考えられます。せん断角も小さくなるので、切りくずは厚くなります。ホーニングの幅を確認して、適正な値に修正してください。

(2) 切りくずの色と温度

切りくずは高温にさらされることによってテンパカラーによる変色着色が生じます。一般にテンパカラーは表層の酸化膜による光の屈折がもたらす現象であり、加熱温度、加熱時間、材質などによって色が異なります。

切りくずの場合は、切れ刃と切りくずの接触面における温度が、例えば1000℃を超えたとしても、すぐに切りくず全体の平均温度まで下がり、その後切削油剤によって急冷されることとなります。したがって切りくずの色がそのまま切削点の温度を示すわけではありませんが、相対的に切削温度が高いかどうかの比較

をすることはできます (表7.3)。

切削条件を設定する際やドリルの再研削の時期を見極めるための判断材料とすることができます。

表7.3 切りくずの色と温度

切りくずの色	温度
淡い青色	↑ 高い 低い
青色	
董青色(すみれ色)	
紫色	
褐色	
黄色(ゴールド)	
薄い黄色(シャンパンゴールド)	低い

7-4 ドリルの損傷状態と対応

加工を続けるとドリルには摩耗や欠けが発生します。その損傷には図7.4.1のようなものがあります。

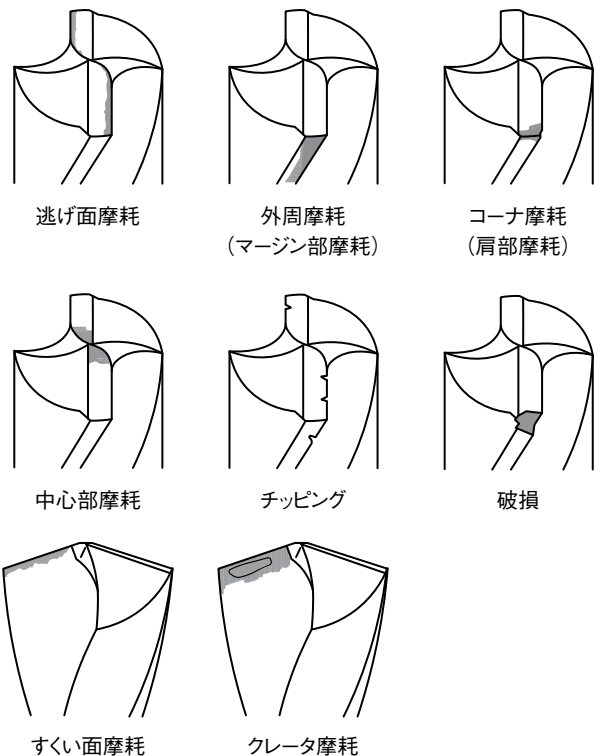


図7.4.1 代表的なドリルの損傷



損傷の状態を観察することは非常に大切です。ドリルの損傷の状態によって加工上の問題がないかを確認することができます。表7.4に摩耗の状態を観察するポイントを紹介します。

表7.4 損傷観察のポイント

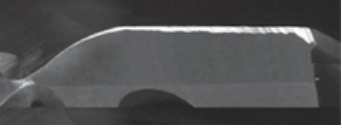
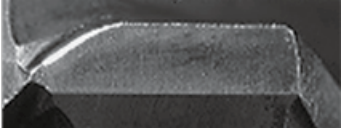
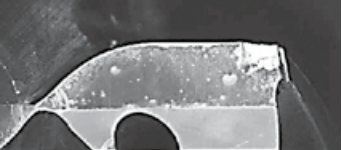
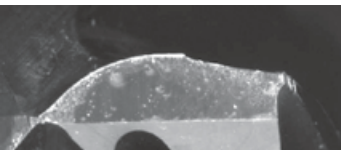

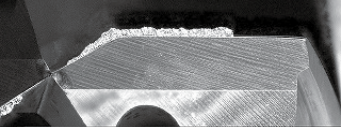
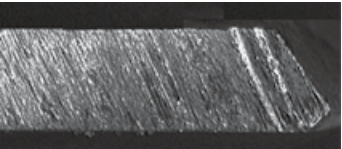
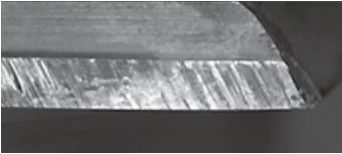
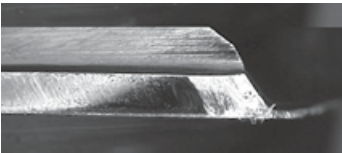
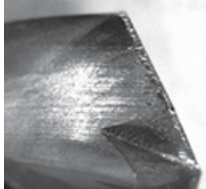
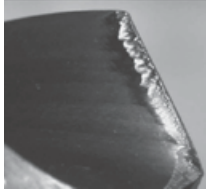
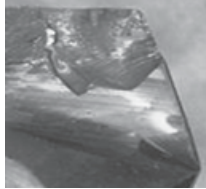
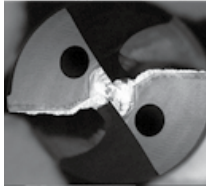
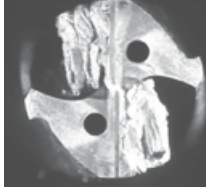
損耗状態		主な発生要因	対策
	正常摩耗 (逃げ面摩耗)	切れ刃が概ね均等に摩耗していれば正常摩耗といえる。通常は外周に向かうにしたがってやや大きくなり、コーナ部が最大となる	・コーナ部の摩耗が非常に大きい場合は切削速度を下げる
	逃げ面摩耗	切削速度が低すぎると中心に向かって摩耗が大きくなる	・切削速度を上げる
	コーナ摩耗 (肩部摩耗)	薄板の貫通穴や干渉穴加工の断続切削で生じやすい。切削速度が高すぎる場合にも発生する	・加工物の穴加工を行う付近を支えるようにして加工物のたわみを防ぐ ・切削速度を下げる
	欠損	送り量が大きすぎる場合、ドリルの取付け不具合による振れが大きい場合などに発生する。加工物の保持方法、機械の剛性不足などによる振動も発生要因となる。クレータ摩耗が逃げ面にまで達した場合やチップピングが生じた場合に、それを起点として発生することもある	・ドリルの取付け時の振れを小さくする ・加工物の保持方法を改善する ・切削速度、送り量を調整して振動をなくす
	チップピング	長く伸びた切りくずの噛み込み、切りくずの再切削が発生要因となる。加工中の振動やドリルの取付け不具合も発生要因となる	・切削油剤の供給圧力を上げる、あるいは供給量を増加する ・切削速度、送り量を調整して振動をなくす
	凝着	摩耗の段階で多少は発生するが、早期に発生したり、頻繁に起こる場合は切削油剤の供給不足、刃先ホーニング量の不具合などが原因	・切削油剤の供給圧力を上げる、あるいは供給量を増加する ・刃先のホーニング量を小さくする ・送り量を下げる。切削速度を上げる（切取り厚さを小さくする）
	外周摩耗	先端側に筋が入るように摩耗する。筋が2本程度であれば正常摩耗と判断できる	・現状の加工を維持し、適切な再研削時期を設定する



表7.4 損傷観察のポイント

損耗状態		主な発生要因	対策
	<p>外周摩耗 (広範囲に渡って多数の筋状摩耗が発生)</p>	<p>取付け精度の不具合、加工中のドリルの振れ、たわみの発生が要因となる。切削油剤の潤滑作用が不足する時にも発生する</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリル取付け時の振れを小さくする ・リップハイトを確認する ・切削油剤の供給圧力を上げる、あるいは供給量を増加する
	<p>外周摩耗</p>	<p>外周摩耗が大きい使用しすぎ、加工物のたわみによって外周の擦り現象が発生、切削油剤の供給が不十分で潤滑作用が不足などの場合に発生する。片側の外周のみ摩耗が大きい場合はドリル取付け時の振れが大きい</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・工具寿命の判定を見直し、早期に再研削する ・切削油剤の供給圧力を上げる、あるいは供給量を増加する ・加工物の穴加工を行う付近を支えるようにして加工物のたわみを防ぐ ・切削速度を下げる ・ドリル取付け時の振れを確認する
	<p>すくい面摩耗</p>	<p>中心部がやや大きく、それを離れると外周に向かって大きくなる傾向があるが、緩やかな変化であり、局部的に摩耗の大きなところがなければ正常摩耗と判断できる</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・現状の加工を維持し、適切な再研削時期を設定する
	<p>クレータ摩耗</p>	<p>加工を続けるとやがて発生するが、早期に発生する場合は、切りくずがすくい面を激しく擦っている状態。切削速度が高すぎる、切削油剤の切削点への供給不足などが原因</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・切削油剤の供給圧力を上げる、あるいは供給量を増加する ・切削速度を下げる
	<p>すくい面の欠損</p>	<p>加工物の保持方法の不具合や、機械の振動などが要因となる。チップングを起点として発生する場合もある</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・加工物の保持方法を改善する ・切削速度、送り量を調整して振動をなくす ・刃先のホーニング量を大きくする
	<p>チゼルエッジ摩耗 (中心部摩耗)</p>	<p>送り量が過大 ステップ加工時の切りくずの再切削や、ステップ送りによる繰り返しの衝撃によって生ずることもある</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・送り量を小さくする ・送りのステップ間隔を見直す、あるいはステップ送りをやめる
	<p>溝全体への凝着</p>	<p>切りくずの排出不具合。切削油剤の供給不足 ジグザグ形の切りくずによる排出不具合</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・切削油剤の供給圧力を上げる、あるいは供給量を増加する ・送り量を調整して切りくず形状を変える ・刃先のホーニング量を小さくする



8. トラブルシューティング

ドリル加工での一般的なトラブルとその原因、ならびに基本的な対策を表8.1 にまとめます。

表8.1 トラブル対策

現象	原因	対策
穴径が拡大する	<ul style="list-style-type: none"> ・取付け時の振れが大きい ・スピンドルのガタが大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホルダの選定 ・スピンドルのチェック ・取付け毎に測定、調整をする
	<ul style="list-style-type: none"> ・先端角が対称でない ・リップハイトが大きい ・チゼルポイントが偏心している 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正に再研削する ・再研削後に精度をチェックする
穴径のばらつき	<ul style="list-style-type: none"> ・先端角が対称でない ・リップハイトが大きい ・チゼルポイントが偏心している ・マージンの摩耗大 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正に再研削する ・再研削後に精度をチェックする
	<ul style="list-style-type: none"> ・取付け時の振れが大きい ・スピンドルのガタが大きい ・ワーク保持が不十分 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホルダの選定 ・スピンドルのチェック ・取付け毎に測定、調整をする
	<ul style="list-style-type: none"> ・送り量が大きすぎる 	<ul style="list-style-type: none"> ・送り量を下げる
	<ul style="list-style-type: none"> ・切削油剤の供給不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・供給方法の変更、流量の増加
穴位置精度不良 ピッチのばらつき	<ul style="list-style-type: none"> ・取付け時の振れが大きい ・スピンドルのガタが大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホルダの選定 ・スピンドルのチェック ・取付け毎に測定、調整をする
	<ul style="list-style-type: none"> ・食付き時に振れる 	<ul style="list-style-type: none"> ・工具・機械系の剛性を上げる ・ワーク、クランプの剛性を上げる ・食付きのよいポイント形状を採用する ・センタリングをする ・加工面の水平を出す ・プッシュ加工をする
	<ul style="list-style-type: none"> ・センタ合わせ不良(旋盤) 	<ul style="list-style-type: none"> ・加工前にチェックする
穴 真直度不良 直角度不良	<ul style="list-style-type: none"> ・工具摩耗が進んでいる 	<ul style="list-style-type: none"> ・再研削する
	<ul style="list-style-type: none"> ・穴位置が悪い 	<ul style="list-style-type: none"> ・センタリングまたはガイド穴加工をする
	<ul style="list-style-type: none"> ・先端角が対称でない ・リップハイトが大きい ・チゼルポイントが偏心している 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正に再研削する ・再研削後に精度をチェックする
	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリル剛性の不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリル剛性を上げる
	<ul style="list-style-type: none"> ・被削面が水平でない ・センタ合わせ不良(旋盤) 	<ul style="list-style-type: none"> ・水平に調整するか、前加工する ・センタリングをする
真円度不良	<ul style="list-style-type: none"> ・先端角が対称でない ・リップハイトが大きい ・チゼルポイントが偏心している 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正に再研削する ・再研削後に精度をチェックする
	<ul style="list-style-type: none"> ・取付け時の振れが大きい ・スピンドルのガタが大きい ・ワーク保持が不十分 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホルダの選定 ・スピンドルのチェック ・取付け毎に測定、調整をする
	<ul style="list-style-type: none"> ・逃げ角が大きすぎる 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正に再研削する
	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリル剛性の不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリル剛性を上げる
仕上げ面精度が悪い	<ul style="list-style-type: none"> ・再研削が適していない 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正に再研削する
	<ul style="list-style-type: none"> ・切削油剤の供給不足、選定不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・供給方法の変更、流量の増加 ・潤滑性の高い切削油剤にする
	<ul style="list-style-type: none"> ・取付け時の振れが大きい ・スピンドルのガタが大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホルダの選定 ・スピンドルのチェック
	<ul style="list-style-type: none"> ・送り量が大きすぎる 	<ul style="list-style-type: none"> ・送り量を下げる
	<ul style="list-style-type: none"> ・切れ刃の摩耗が大きい ・マージン部の溶着が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正に再研削する ・コーティング品を使う
	<ul style="list-style-type: none"> ・切りくず詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリルの選択(溝型、ねじれ角など) ・加工方法の選択(送り量の調整、ステップ加工)
円筒度	<ul style="list-style-type: none"> ・先端角が対称でない ・リップハイトが大きい ・チゼルポイントが偏心している ・マージンの摩耗大 	<ul style="list-style-type: none"> ・適正に再研削する ・再研削後に精度をチェックする
	<ul style="list-style-type: none"> ・送り量が小さすぎる 	<ul style="list-style-type: none"> ・送り量を上げる



表8.1 トラブル対策

	現象	原因	対策
ドリル	折損 	・機械、ワークのたわみ、逃げ	・工具・機械系の剛性を上げる ・ワーク、クランプの剛性を上げる
		・逃げ角が小さすぎる	・正確に再研削する
		・切削速度に対する送り量が大きすぎる	・送り量を下げる
		・摩耗が進行している	・再研削する
		・切りくず詰まり	・ドリルの選択（溝型、ねじれ角など） ・加工方法の選択（送り量の調整、ステップ加工）
		・食付きが悪い	・工具・機械系の剛性を上げる ・ワーク、クランプの剛性を上げる ・食付きの良いポイントを採用 ・センタリングをする ・加工面の水平を出す ・ブッシュ加工を行う
	コーナの欠損 	・ドリル材種が適していない	・材種を選択する
		・被削材に硬い箇所、組織がある	・材種を検討する ・加工条件（切削速度、送り量）を見直す ・加工方法を検討する
		・切削速度、送り量が大きすぎる	・切削速度、送り量を下げる
		・切削油剤の供給不足	・供給方法の変更、流量の増加
	刃欠け 切れ刃のチッピング 	・取付け時の振れが大きい ・スピンドルのガタが大きい	・ホルダの選定 ・スピンドルのチェック ・取付け毎に測定、調整をする
		・切削速度、送り量が大きすぎる	・切削速度、送り量を下げる
		・逃げ角が大きすぎる	・適正に再研削する
		・ドリル材種が適していない	・材種を選択する
	異常摩耗 外周コーナ 	・再研削時期の遅れ	・再研削のインターバルを短くする
・センタ合わせ不良（旋盤）		・加工前にチェックする	
・切削速度が高すぎる		・切削速度を下げる	
・刃先形状が適していない		・加工に合った形状を選択	
・ドリル材種が適していない		・材種を選択する	
・切削油剤が適していない		・切削油剤を選択する	
摩耗、欠損 チゼル部 チゼルエッジの潰れ 	・送り量が大きすぎる	・送り量を下げる	
	・刃先形状が適していない	・加工に合った形状を選択	
	・ドリル材種が適していない	・材種を選択する	
	・逃げ角が小さすぎる	・正確に再研削する	
マージンのチッピング 	・ブッシュの寸法が大きすぎる	・ブッシュの寸法の適正化	
マージン部に溶着 	・切れ刃摩耗による発熱量が大きい	・適正に再研削する	
	・切削油剤の供給不足	・供給方法の変更、流量の増加	
	・切削油剤が適していない	・切削油剤を選択する	
	・切りくずの逃がが悪い ・被削材が柔らかい	・ドリル、加工方法の選択	
タングが折れる  MTシャンク	・シャンク傷によるスリップ	・傷を除去する	
	・スリーブの摩耗、傷	・交換、修正	
	・再研削精度が悪い（切削抵抗大）	・適正に再研削する	
びびり音が発生する 	・逃げ角が大きい	・適正に再研削する	
	・ドリルの剛性不足	・ドリルの剛性を上げる	
切りくずが巻き付く 	・切りくずが長くなる ・切りくずがたまっている	・加工方法、条件、ドリルの検討	
	片減り 	・センタ合わせ不良（旋盤）	・機械の芯出しを行う
・取付け不良		・ドリル取付け時の振れを押さえる	



9. ドリルの再研削

9-1 再研削の時期

ドリルの切れ刃の損傷が進み、切れ味が悪くなったら寿命と判断し、再研削を行います。多くは切削音や切りくずの色、形の変化、ばりの発生状態など感覚的に再研削時期が判断されます。

しかしドリルの損傷があまり大きくなるまで使用を続けると再研削時の除去量が多くなり、再研削回数が減ってしまいます。

再研削の時期は、

ドリル1本の総寿命

$$= \text{新品の寿命} + \text{再研寿命} \times \text{再研削回数}$$

のように考えて決定するのがよいでしょう。

加工穴の要求精度や品位が厳しい場合は、加工穴の拡大代や曲がりを限界ゲージ、シリンダゲージなどでチェックして、管理値を超えたら再研削の時期と判断する方法もあります。あるいはこの経験値に安全率を見込んだ定数加工時を再研削の時期と判断することもできます。量産加工ではよく見られる方法です。

またはスラスト、トルク、主軸電流値を観察し管理限界（管理図による管理限界）を超えた時に工具交換を行うというIOTに展開できそうな方法もあります。

9-2 再研削方法

ドリルの再研削は先端部およびマージン部の摩耗が取り切れるように再刃付けを行います。切れ刃に大きな欠けがある場合や、マージン部の摩耗が激しい場合は、あらかじめその部分までを研削除去（あるいは切断）してから再刃付けを行うようにします。

精度の良い再研削を行うためには、ドリル専用の再研削盤あるいは万能工具研削盤、CNC 工具研削盤で行う必要があります。

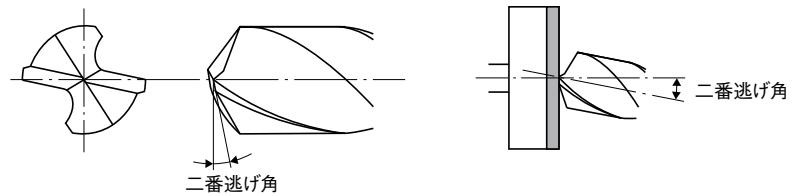
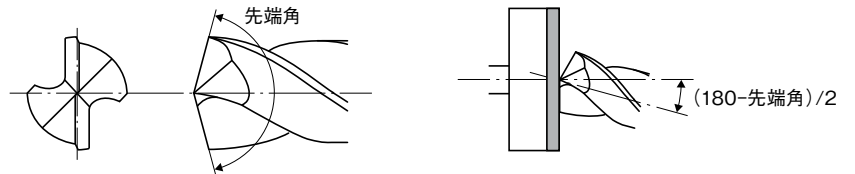


最近では、各メーカーにおいて特殊な仕様が採用されています。再研削後の性能を出来る限り維持するために、メーカーでの再研削が望まれます。

ここでは、図9.2.1 に平面二段研削、X シンニングの再研削手順を紹介します。

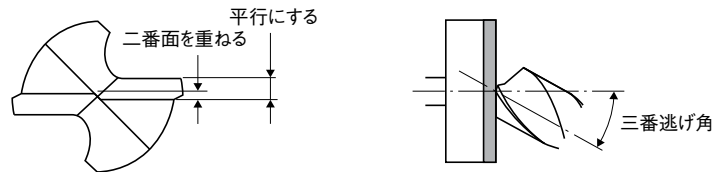
① 二番逃げ面の研削

最初に先端角、二番逃げ角に合わせて二番逃げ面の研削を行います。



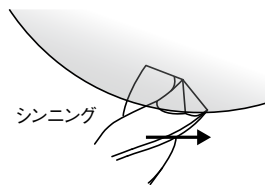
② 三番逃げ面の研削

続いて三番逃げ角に合わせて、二番逃げ面が平行になるように三番逃げ面を研削します。



③ シンニング

逃げ面の研削が終わったらシンニングを入れます。



④ ホーニング

研削が終わった後に、欠け防止のためにホーニングを行います。ホーニングの幅は概ね0.01 × ドリル直径mm (最大で0.15mm程度)を目安に行います。一般に加工材料がアルミニウム合金などの場合にはホーニングは施しません。

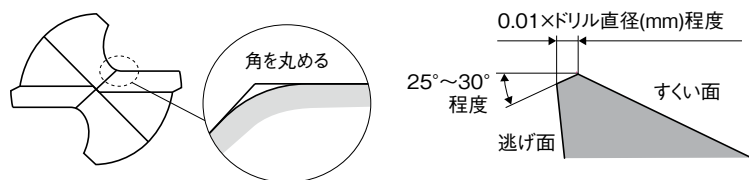


図9.2.1 再研削の手順



9-3 再研削後の確認

再研削後は摩耗が取り切れているかを確認します。続いて図9.3.1に示すような先端形状(ポイント形状)にアンバランスがないかを確認します。リップハイトは

一般に0.02mm以下としてください。

なお再研削を繰り返すとバックテーパの影響で直径が小さくなるので注意が必要です。

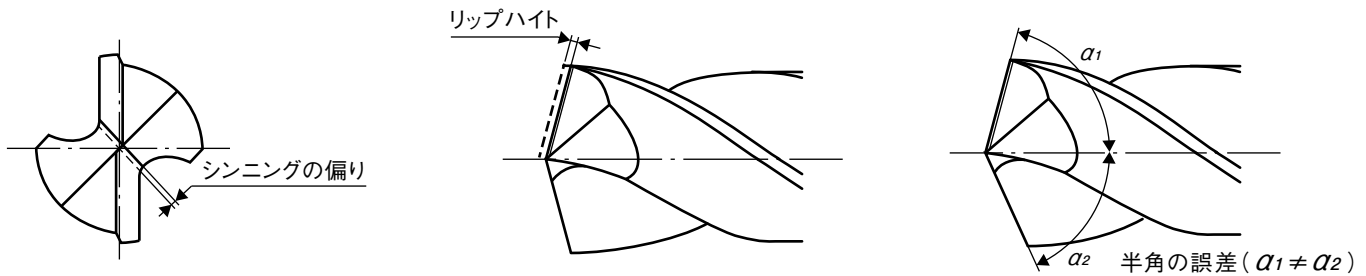


図9.3.1 切れ刃の誤差

9-4 研削砥石と研削条件

ドリルの再研削を行う場合の、砥石選定の目安を表9.1に示します。なお研削油剤の使用を推奨します。

研削油剤は工具研削に適した良質なものを選定ください。

表9.1 砥石選定の目安

工具材種	研削部位	砥石	
		砥粒	粒度
HSS	逃げ面 シンニング	WA	#60~80
		cBN	#150~400
超硬	逃げ面 シンニング	ダイヤモンド	#150~400
	刃先ホーニング 荒	ダイヤモンド (やすり)	#180~220
	刃先ホーニング 仕上げ		#400以上

9-5 再研削を行う際の安全上の注意

再研削を行う時は必ず局所排気装置を設置し、粉塵が作業域に飛散しないようにしてください。また保護マスク、保護眼鏡を必ず着用してください。

コバルト (Co) およびその無機化合物は、労働安全衛生法施行令によって特定化学物質に指定されています。コバルトハイス (HSS-Co)、超硬合金 (WC-Co) 製のドリルはこの対象となります。コバルトハイスドリルや超硬ドリルで通常の切削加工を行っても

何ら問題はありませんので、切削加工を行う職場は除外されますが、再研削を行う職場は、特定化学物質障害予防規則の対象となります。したがってこの規則に従う取り扱いをしなければなりません。詳しくは特定化学物質障害予防規則をご確認ください。もし安全衛生上の問題が解決されない場合は、再研削をメーカーに依頼するのが最善です。



参考文献

- 1) 中山一雄 (1978)「切削加工論」コロナ社
- 2) 日本工具工業会 (2015)「切削工具の手引書」
- 3) 切削油技術研究会 (1994)「現場技術者のための穴加工皆伝」
- 4) 切削油技術研究会 (1966)「D.R.T.MANUAL 切削油技術研究会編」
- 5) 今泉英明 (2020)「エンドミル・ドリルに見る加工現象」機械技術68巻 第15号 (2020年12月号)日刊工業新聞社
- 6) 今泉英明 (2019)「目利きが教えるエンドミル使いこなしの基本」日刊工業新聞社

安全にお使いいただくために

加工前の注意

- ・鋭利な切れ刃を素手で触るとけがの危険があります。切れ刃を素手で触らないで下さい。特にケースからの取り出し時や機械への装着時には、保護手袋を使用して下さい。
- ・重量の重い工具を扱う時は、落下によるけがの危険があります。適切な運搬機具やチェンブロック等を使用し、安全靴を着用して下さい。
- ・工具に傷、割れ等があると使用中に破損し飛び散ることがあります。使用前に傷、割れ等のないことを確認して下さい。
- ・使用前に工具および加工物の寸法を確認して下さい。
- ・回転方向を誤ると工具が破損、飛散しけがをする危険があります。使用前に回転方向を確認して下さい。
- ・工作機械保持具を含めた回転部のバランスが悪いと振れ振動により工具が破損しけがをする危険があります。試運転を必ず実施しバランスの確認をして下さい。
- ・工具の保持が不十分ですと破損、飛散を招きけがをする危険があります。ホルダ等は、工具および加工内容に見合ったものを使用して下さい。工具はホルダにしっかりと固定し、振れを抑えるようにして下さい。
- ・加工物の保持が不十分ですと、工具や加工物が破損し飛散する危険があります。加工物の保持は確実に行って下さい。

加工する時の注意

- ・回転中の工具、加工物等に触るとけがをします。回転中の工具、加工物等には絶対に触らないで下さい。衣服にたるみがあると巻き込まれる危険があります。たるみのない衣服を着用して下さい。
- ・工具が加工中に衝撃的な負荷を受けると破損、飛散しけがをする危険があります。また、加工中に高温の切りくずが飛散したり長く伸びた切りくずが排出され、けがや火傷をする危険があります。必ず安全カバーや保護めがね等の保護具を使用して下さい。
- ・工具を改造したり、本来の使用目的以外で使用すると工具が、破損、飛散しけがをする危険があります。工具は改造しないで下さい。本来の使用目的で使用して下さい。
- ・切削条件基準表の数値は、新しく作業を立ち上げる時の目安として下さい。加工物の形状や機械剛性に合わせて条件を調節する必要があります。
- ・加工中に異常な振動等が発生した場合は、直ちに加工を中止して下さい。そのまま続けると工具が破損、飛散しけがをする危険があります。異常の原因を取り除いてから加工を再開して下さい。
- ・摩耗が進んだり、痛んだ状態の工具を使用し続けると破損、飛散の原因となります。切れ味が悪くなったなら工具を交換して下さい。
- ・用途に応じ切削油剤を選定して下さい。不水溶性切削油剤を使用する時は、加工時に発生する火花や破損による発熱で引火、火災の危険があります。防火対策を必ず行って下さい。

加工後の注意

- ・加工直後の工具、加工物は、高温になっているため火傷をする危険があります。素手で触らないで下さい。
- ・加工物に生じたばりでけがをする危険があります。素手で触らないで下さい。
- ・加工後は必ず加工物の寸法を確認して下さい。
- ・工具を再研削すると粉塵が発生します。粉塵は健康を害する危険がありますから、必ず防塵マスク、吸塵機等の粉塵対策をして下さい。

以上は、当社製品を安全にお使いいただくための基本的注意です。その他の詳細につきましては、当社までお問い合わせ下さい。



shaping your dreams

本社
〒442-8543 愛知県豊川市本野ケ原三丁目22番地 TEL(0533)82-1111
E-mail: cs-info@osg.co.jp Web: https://www.osg.co.jp/

東日本営業部
〒140-0002 東京都品川区東品川4-12-6
品川シーサイドキャナルタワー 19階 TEL(03)5715-2966

西日本営業部
〒550-0013 大阪府大阪市西区新町2-4-2 405号
TEL(06)6538-3880

アプリケーション営業部
〒451-0051 愛知県名古屋市西区則武新町3-1-17
BiZrium名古屋 4階 TEL(052)589-8320

仙台	TEL (022) 390-9701	三河	TEL (0566) 62-8286
郡山	TEL (024) 991-7485	トヨタ	TEL (0533) 82-1145
茨城	TEL (029) 354-7017	名古屋	TEL (052) 589-8320
両毛	TEL (0270) 40-5855	岐阜	TEL (058) 259-6055
宇都宮	TEL (028) 651-2720	京滋	TEL (077) 553-2012
新潟	TEL (025) 288-3888	大阪	TEL (06) 4308-3411
東京	TEL (03) 5715-2966	明石	TEL (078) 927-8212
八王子	TEL (042) 645-5406	金沢	TEL (076) 268-0830
厚木	TEL (046) 230-5030	岡山	TEL (086) 241-0411
諏訪	TEL (0266) 58-0152	広島	TEL (082) 532-6808
上田	TEL (0268) 28-7381	四国	TEL (087) 868-4003
静岡	TEL (054) 283-6651	九州	TEL (092) 504-1211
浜松	TEL (053) 461-1121	北九州	TEL (093) 922-8190
豊川	TEL (0533) 82-1145	熊本	TEL (096) 386-5120

「工具の技術的なご相談は…」コミュニケーションダイヤル

よい工具は一番
0120-41-5981 土日祝日、会社休日を除く

コミュニケーション FAX 0533-82-1134 コミュニケーションE-mail hp-info@osg.co.jp

⚠️ 安全にお使いいただくために

- 工具を使用する時は、破損する危険があるので、必ずカバー・保護眼鏡・安全靴等を使用して下さい。
- 切れ刃は素手で触らないで下さい。
- 切りくずは素手で触らないで下さい。
- 工具の切れ味が悪くなったら使用を中止して下さい。
- 異常音・異常振動が発生したら、直ちに使用を中止して下さい。
- 工具には手を加えないで下さい。
- 加工前に工具の寸法確認を行って下さい。

OSG代理店

Copyright © 2024 OSG Corporation. All rights reserved.

- 製品については、常に研究・改良を行っておりますので、予告なく本カタログ掲載仕様を変更する場合があります。
- 本書掲載内容の無断転載・複製を禁じます。

T-24. 419.AB.GC(DN)
24.01

オーエスジー株式会社