

ドリルの切削条件を選定する指標の提示

— SGドリルシリーズの最適切削条件 —

Suggestion for determination of optimum drilling conditions

キーワード

SG-ESSドリル、SG-ESドリル、最適切削条件、等寿命線図、等拡大代線図、摩耗速度、加工精度

工具製造所技術一部
大橋誠司

■ 摘要

切削速度、送り量と寿命個数の関係を定量化し、等寿命線図に表すことにより、わかりやすい技術資料の提供ができる。その考え方を説明するとともに、新商品のSGドリルシリーズを例にとり、寿命の最長条件や任意の条件における寿命個数など最適条件の選定について具体的に紹介する。穴拡大量についても寿命と同様に表示することを試みた。またSGドリルシリーズの特徴をあわせて紹介する。

■ Abstract

Easy-to-understand technical materials can be supplied by quantizing the relationship between cutting speed, feedrate and number of tool lives and expressing this relationship as an isometric life chart. This paper describes this rationale, and introduces in detail the selection of optimum conditions such as longest life conditions and the number of tool lives in any conditions using the new SG drill series in examples. We also attempted to indicate the amount of drill hole enlargement in the same way as tool life. This paper also introduces the features of the SG drill series.

1. はじめに

工具の種類を変えたり、回転数や油剤などの切削条件、被削材の硬さの変更で寿命が変化するのは日常経験することである。作業技術者が最も知りたいこと、例えば適正条件、寿命、加工精度などの情報の提供により作業効率が向上すれば、その商品は大きな価値を生み出すものと思われる。

ドリル加工では高能率化、長寿命化、高精度化（リーマレス化）の市場ニーズが高くこれらに応えるため、SGドリルシリーズを開発した。SGドリルの商品化にあたり、切削条件の最適領域を明示するため、等寿命線図や等拡大代線図で寿命・拡大量の情報を、わかりやすく提示することを試みた。

ここでは主に寿命に関する適正条件の考え方について説明し、加工精度やSGドリルシリーズの特徴を併せて紹介する。

2. 寿命に関する最適条件の考え方

ドリル寿命を表す式として（1）式が経験的に知られている。

$$V \times L^n \times f^a \times D^b \times I^c \times HB^d = C \quad (1)$$

V：切削速度　L：ドリル寿命　f：送り量
D：ドリル直径　I：穴深さ　HB：被削材硬さ
n, a, b, c, dおよびC：定数

寿命はこの式でとりあげた要因の他に被削材の性質や組織、切削油剤の銘柄や濃度、給油方法、ドリルの種類、ツーリングや治具の剛性、機械の特性など多くの要因の影響を受ける。ドリルの寿命方程式を導き最適切削条件を算出するには、これらの要因を式に取り込むが必要になるが、実験規模が膨大になり実際的でない。

しかし穴加工でオペレータが最も必要とするのは、適正な切削速度と送り量の選定指標であるので、要因を限定して実験を行い、それらの結果から類推する方法が実務的であ

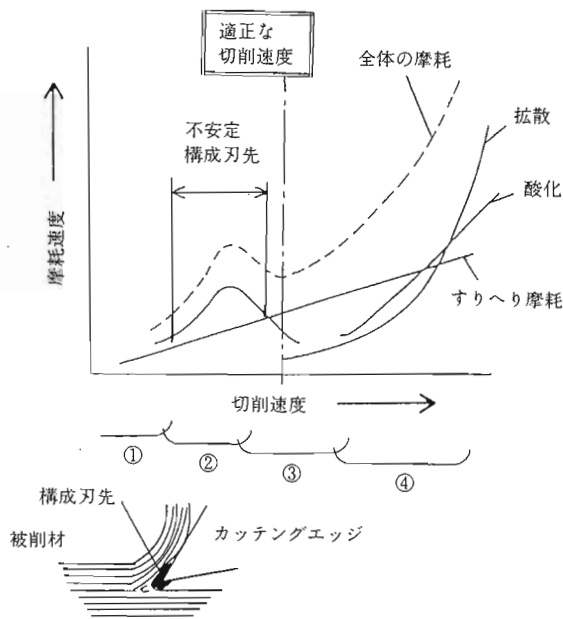


図1 切削速度と摩耗速度

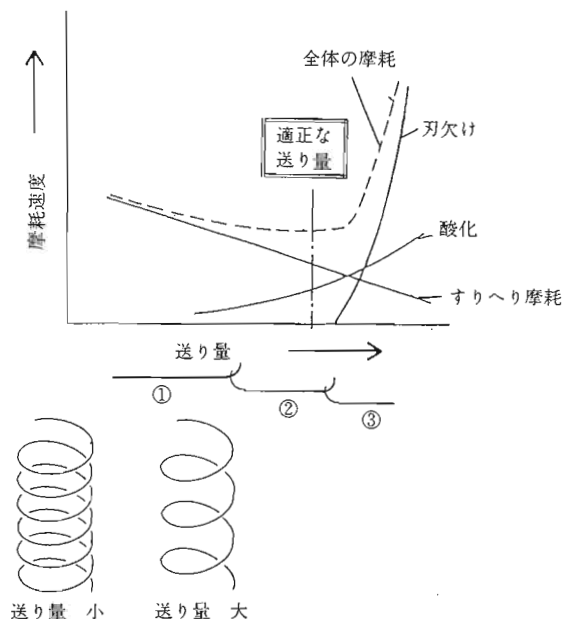


図2 送り量と摩耗速度

と思われる。この実験では基準となる被削材・穴深さ・油剤・取り付け方法・機械を定めて切削試験を実施し、切削速度と送り量が性能に与える影響を提示できるよう計画した。

切削速度・送り量と工具寿命に関する考え方を説明する。ドリル寿命は切りくずつまりや座屈による破壊を除くと、切れ刃やマージンの摩耗量に影響される。単位加工個数当たりの摩耗量を摩耗速度としたときの、切削速度と摩耗速度の基本的な関係を図1に示す。

①のように切削速度を低い領域にとると発熱は低く摩耗速度は小さいが加工能率が低くコスト的に不利である。②のように切削速度をやや高くすると発熱が増して構成刃先が切れ刃に溶着する。この溶着は不安定で脱落時に切れ刃エッジのチッピングが生じやすく摩耗速度は急増する。③のように切削速度をさらに大きくすると、構成刃先は強固に溶着するので切れ刃は保護され摩耗速度は減少する。④のような高速切削では切れ刃は高温になり、工具母材と被削材の間に酸化・熱拡散のような化学的摩耗が加わり、全体の摩耗速度は急速に増大する。このように摩耗速度はある切削速度で極大、極小値をもつため適正速度は③の領域にある。

図2は、送り量と摩耗速度の基本的な関係である。①のようなごく小さな送り量では切れ刃は穴面をつる巻状に細かくトレースするので切れ刃エッジの接触距離が増大し、加えて加工硬化層を切削しやすいため機械的なすり減り摩耗が増して摩耗速度は大きい。②のように送り量を増すと穴一個当たりのトレース長さが減少するので、摩耗速度

はしだいに小さくなる。③のように送り量を過大にとると切削抵抗が切れ刃の強度を超えるため欠損が生じる。このように摩耗速度は切れ刃欠損の手前に極小値をもつため適正送り量は②の領域にある。

実際の加工では切削速度と送り量を組み合わせた条件が必要である。摩耗速度の逆数はある一定摩耗量に到達するまでの加工個数であるから、これを寿命とみなすことができる。縦軸に切削速度に関する寿命曲線、横軸に送り量に関する寿命曲線をおいたとき、両条件を組み合わせた寿命の大きさは、図3に示すような周辺寿命の積で与えられると予想される。すなわち工具寿命は、ある切削条件において極大値がみられ、周辺にゆくにつれて低下する。切削実験による確認試験の結果、破損寿命を特性値として本手法の有効性を確認できた。

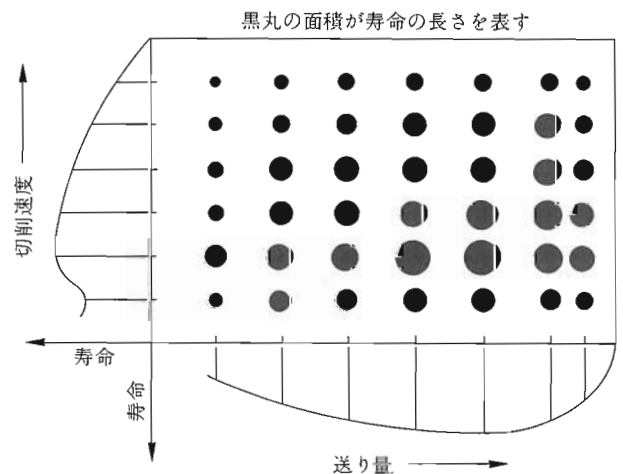


図3 切削速度×送り量と予想寿命

3. 寿命に関する適用事例

3.1 SG-ESSドリル(ショートタイプ)の寿命性能

SG-ESSドリルでの実験例を説明する。図4は、φ7.0SG-ESSドリルのデータで、図中の黒丸は寿命個数の大きさを表す。被削材はクロムモリブデン鋼熱間圧延材(SCM440)を調質熱処理(硬さ302~321HB)したもので深さ16mmを通り穴あけした。切削速度と送り量を要因にして、図5に示す実験方法でドリルがギー音を発生するまで加工した。

その結果を図6に等寿命線図として示す。この線図は寿命データを多変量解析して実験式を求め、等しい寿命の条件を地図の等高線のように表示したものである。図の中央部の寿命が高く、周辺にゆくにつれ寿命は低下しており、図3の推定が裏付けられた。

最大寿命の得られる条件は、切削速度13.3m/min, 送り量0.31mm/rev, 加工能率186mm³/minである。寿命は約1600個(25.6m)と推定される。また[高能率加工条件]と記された線上の条件を用いると、任意の加工能率における最も寿命の長い切削速度と送り量の組み合わせを求めることができる。例えば220mm³/minの加工能率を必要と

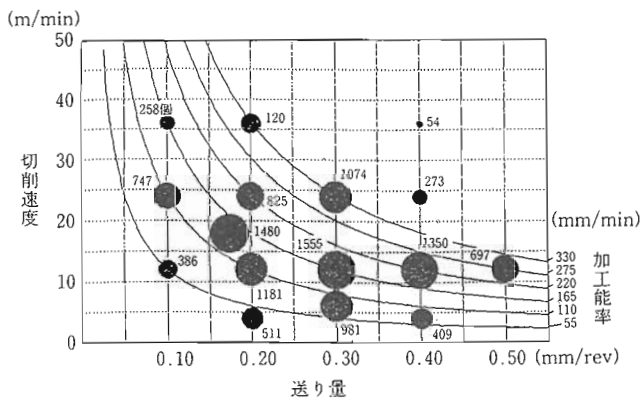


図4 SG-ESSドリルの寿命個数

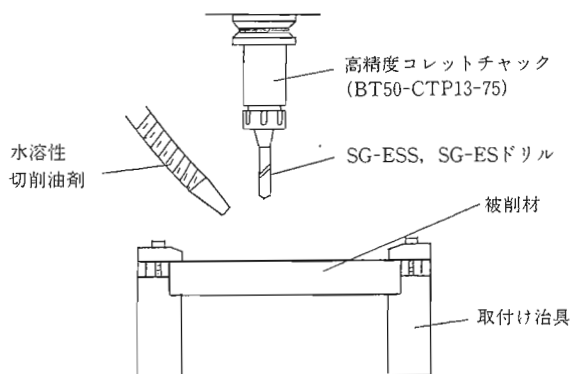
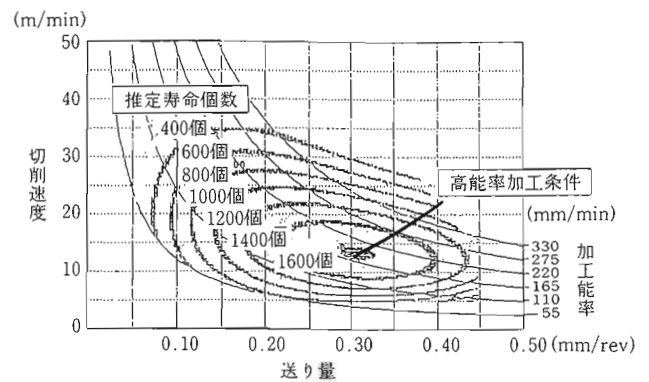


図5 実験方法

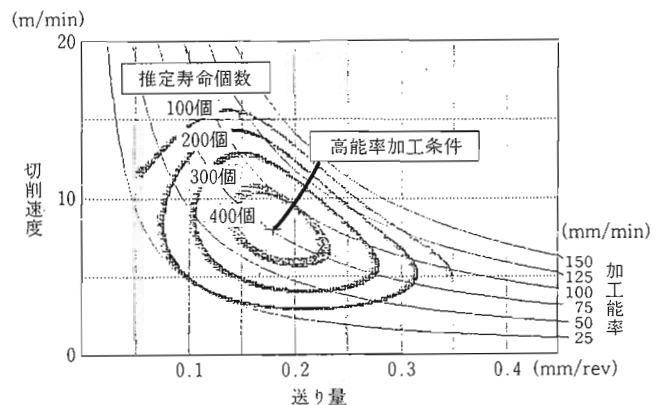
する時は[高能率加工条件]と加工能率曲線の交点条件、切削速度15.0m/min, 送り量0.32mm/revが適正である。このときの寿命は約1550個(24.8m)と推定される。この個数は完全寿命であるから、実用的には、この65%程度で工具交換すると再研削量が少なく経済的である。

比較として弊社の汎用ハイスドリルである標準ストレートドリルの等寿命線図を図7に示す。最大寿命の得られる条件は、切削速度8.1m/min, 送り量0.18mm/rev, 加工能率78mm³/minであり、寿命は約440個(9.7m)と推定される。この値を基準にSG-ESSドリルを評価すると、加工能率は約2.4倍、寿命は約2.6倍になる。もし最大性能の比率を加工能率比×寿命比とするとSG-ESSドリルは標準ストレートドリルの約6.2倍の性能を持つとみなせる。



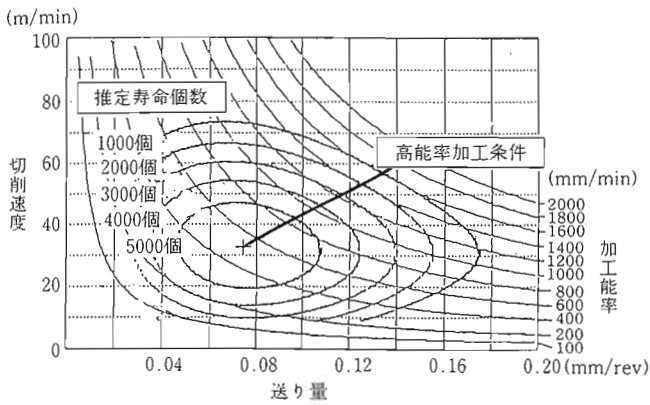
ドリル: SG-ESSドリル
 直径φ7.0×全長78×溝長34×シャンク径φ8
 被削材: SCM440 310HB
 穴深さ: 16mm 通り穴
 切削油剤: 水溶性W1種2号 15倍希釈
 試験機械: 立形マシニングセンタ

図6 SG-ESSドリルによるSCM440調質材での等寿命線図



ドリル: 標準ストレートドリル
 直径φ6.0×全長102×溝長70×シャンク径φ6
 被削材: SCM440 310HB
 穴深さ: 22mm 通り穴
 切削油剤: 水溶性W1種2号 15倍希釈
 試験機械: 立形マシニングセンタ

図7 標準ストレートドリルによるSCM440調質材での等寿命線図



ドリル：SG-ESSドリル
 直径φ1.5×全長42×溝長10×シャンク径φ3
 被削材：SCM440 310HB（フライス加工面）
 穴深さ：4.7mm 止り穴
 切削油剤：水溶性W1種2号 15倍希釈
 試験機械：立形マシニングセンタ

図8 小径SG-ESSドリルによるSCM440調質材での等寿命線図

図8は、φ1.5の小径SG-ESSドリルで4.7mm止り穴を加工したときの等寿命線図である。最大寿命の得られる条件は、切削速度32.6m/min、送り量0.075mm/rev、加工能率520mm/minである。寿命は約5900個（28.0m）と推定される。もし1000mm/minの加工能率を必要とする時は切削速度45.0m/min、送り量0.10mm/revが適正である。寿命は約4200個（19.7m）と推定される。小径ドリルは従来低速、低送りで慎重に使うものというイメージがあったが、このドリルは難加工の小径穴を、長寿命で高能率に加工できる。

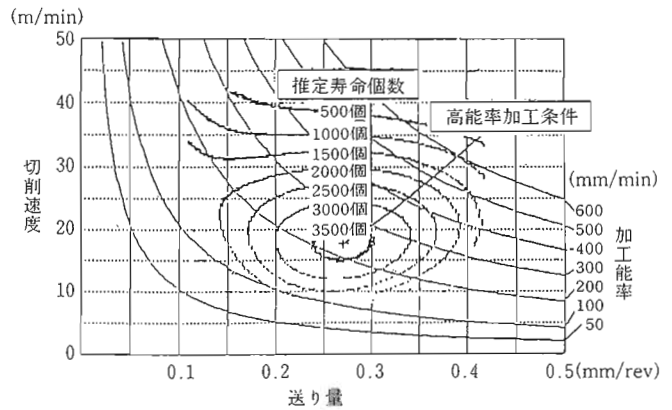
3.2 SG-ESドリル（レギュラータイプ）の寿命性能

図9は、φ6.6SG-ESドリルで機械構造用炭素鋼S50C（180HB）を深さ19mm通り穴あけしたときの等寿命線図である。最大寿命の得られる切削条件は切削速度17.5m/min、送り量0.27mm/rev、加工能率228mm/minである。寿命は約3620個（68.8m）と推定される。もし400mm/minの加工能率を必要とする時は切削速度25.0m/min、送り量0.33mm/revが適正である。このときの寿命は約2600個（49.4m）と推定される。SG-ESドリルはレギュラーサイズの溝長を持つが、剛性が高く直径の4～5%に相当する高い送り量にも耐えて長寿命を得ることができる。

4. 加工精度の事例

4.1 SG-ESSドリルの加工精度

SGドリルシリーズは加工穴の高精度化を狙いとして開発



ドリル：SG-ESドリル
 直径φ6.6×全長107×溝長63×シャンク径φ8
 被削材：S50C 180HB
 穴深さ：19mm 通り穴
 切削油剤：水溶性W1種2号 15倍希釈
 試験機械：立形マシニングセンタ

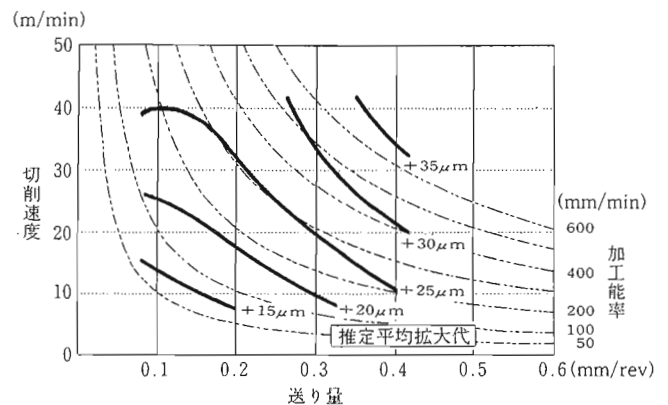
図9 SG-ESドリルによるS50C材での等寿命線図

した。加工精度から見た切削条件の選定について説明する。

バニッシュ作用のないドリルで高精度の穴を得るには、切れ刃精度の優れたドリル、振れの小さいツーリング、剛性の高い機械系に加えて、適正な条件を選ぶことが必要になる。

切削速度が高いときは、強固な構成刃先がマージンに溶着しやすく、振動が加わり過切削して拡大しやすくなる。送り量が大きくなると切削抵抗が増大し、ドリルの弾性変形によるたわみが生じて拡大しやすく、送り量が小さすぎると歩行現象でライフリングマークが生じ、穴は多角形に変形しやすい。

図10は、φ6.6SG-ESSドリルで機械構造用炭素鋼S50C（180HB）を深さ19mm通り穴あけしたときの等拡大代線

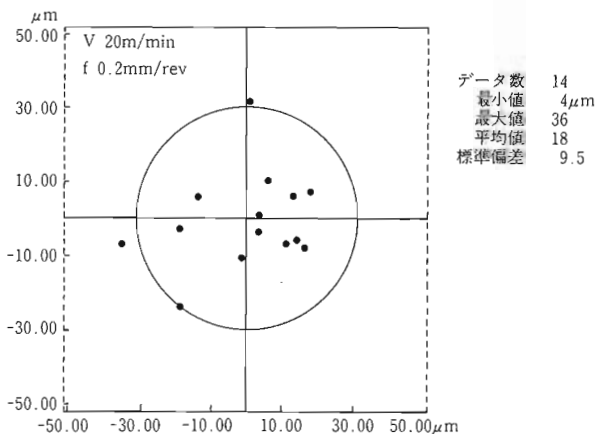
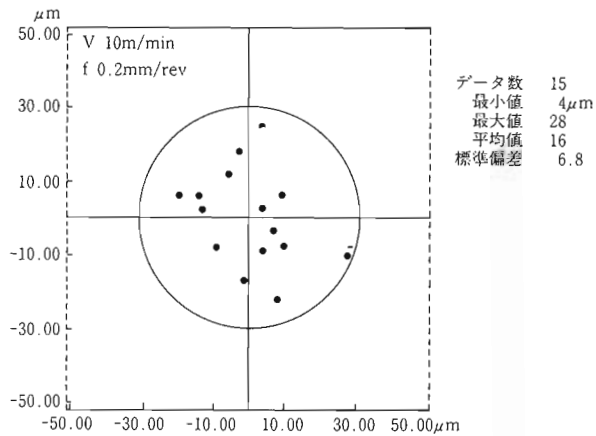
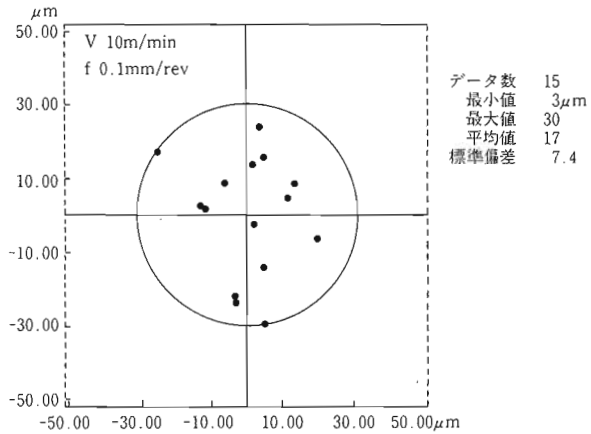


ドリル：SG-ESSドリル
 直径φ6.6×全長75×溝長31×シャンク径φ8
 被削材：S50C 180HB（フライス加工面）
 穴深さ：19mm 通り穴
 切削油剤：水溶性W1種2号 15倍希釈
 試験機械：立形マシニングセンタ

図10 SG-ESSドリルの等拡大代線図

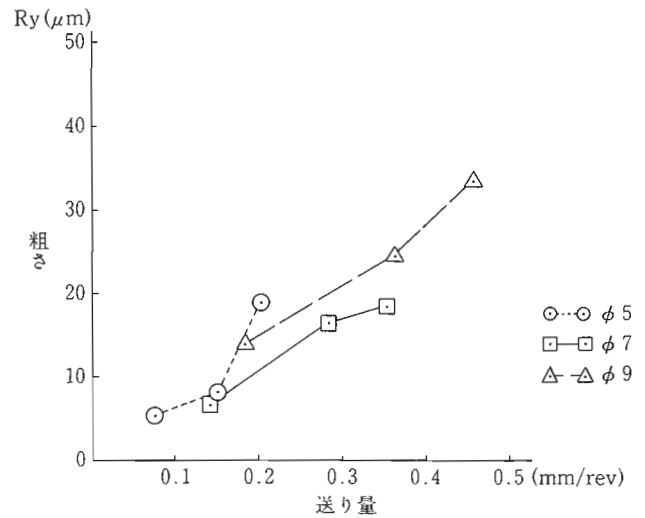
図の例である。等寿命線図と同様に等しい平均拡大代の条件を等高線表示したもので、この図より切削速度10m/min, 送り量0.15mm/revでH7級の穴が得られることが分かる。

図11は穴位置精度を示す。切削速度10m/min, 送り量0.1~0.2mm/revで位置ずれ量は平均約20 μ m以下, 最大約40 μ mと小さい。図12は面粗さを示す。送り量を低くすることにより面粗さは向上する。



ドリル：SG-ESSドリル 直径 ϕ 6.6 \times 全長75 \times 溝長31 \times シャンク径 ϕ 8
被削材：S50C 180HB (フライス加工面)
穴深さ：19mm 通り穴
切削油剤：水溶性W1種2号 15倍希釈
試験機械：立形マシニングセンタ BT50

図11 SG-ESSドリルの穴位置精度



ドリル：SG-ESSドリル

直径 ϕ 5.0 \times 全長70 \times 溝長26 \times シャンク径 ϕ 6

直径 ϕ 7.0 \times 全長78 \times 溝長34 \times シャンク径 ϕ 8

直径 ϕ 9.0 \times 全長90 \times 溝長40 \times シャンク径 ϕ 10

被削材：SCM440 310HB (フライス加工面)

穴深さ： ϕ 5；16mm 通り穴， ϕ 7， ϕ 9；22mm 通り穴

切削速度：13.0m/min

切削油剤：水溶性W1種2号 15倍希釈

試験機械：立形マシニングセンタ BT50

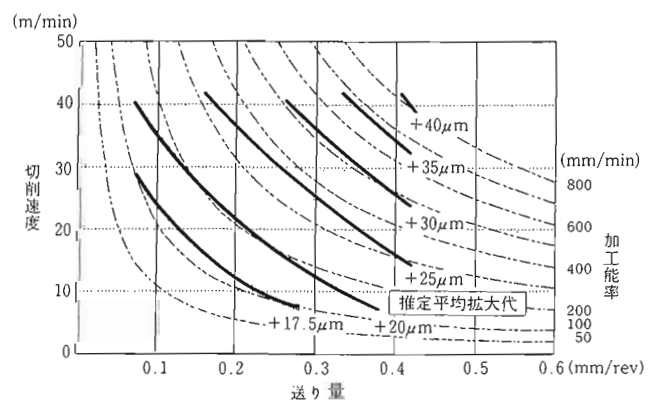
図12 SG-ESSドリルの加工面粗さ

4.2 SG-ESドリルの加工精度

SG-ESドリルは溝長が長いので、加工前に取り付け振れが先端で0.02mm以下であることを確認していただきたい。また被削材が軟質のときは、送り量を高めにしたほうが、良い穴が得られる。

図13は、 ϕ 6.6SG-ESドリルでS50C (180HB) を深さ19mm通り穴加工したときの等拡大代線図の例である。切削速度10m/min, 送り量0.22mm/revでH8級の穴が得られる。

その他の精度については不二越技報109号(1994)新商品紹介頁50に記載したので参照願いたい。



ドリル：SG-ESドリル 直径6.6 \times 全長107 \times 溝長63 \times シャンク径8
被削材：S50C 180HB (フライス加工面)
穴深さ：19mm 通り穴
切削油剤：水溶性W1種2号 15倍希釈
試験機械：立形マシニングセンタ

図13 SG-ESドリルの等拡大代線図

5. SGドリルシリーズの特徴

新商品SGドリルシリーズの特徴について紹介する。

SG-ESSドリルはショートタイプであり、食いつき性が良くセンタ穴なしでも高い位置精度が得られる。切れ刃はスリーレーキ研ぎで、心厚は直径の18%と小さ目であるが溝幅比が小さくウエブテーパがあるため剛性が高くH7級の優れた穴加工が可能である。表1に寸法表、図14に断面形状を示す。

表1 SG-ESSドリルの寸法表

直径	全長	溝長	シャンク径	シャンク長
1.0	38	6	3	28.5
1.1	39	7	3	28.5
1.4-1.3	40	8	3	28.5
1.4-1.5	41	9	3	28.5
1.6-1.7	42	10	3	28.5
1.8-1.9	43	11	3	28.5
2.0-2.1	44	12	3	28.5
2.2-2.3	45	13	3	28.5
2.4-2.6	46	14	3	28.5
2.7-3.0	48	16	3	28.5
3.1-3.3	50	18	4	28.5
3.4-3.7	52	20	4	28.5
3.8-4.0	54	22	4	28.5
4.1-4.2	66	22	6	37
4.3-4.7	68	24	6	37
4.8-5.3	70	26	6	37
5.4-6.0	72	28	6	37
6.1-6.7	75	31	8	37
6.8-7.5	78	34	8	37
7.6-8.0	81	37	8	37
8.1-8.5	87	37	10	41
8.6-9.5	90	40	10	41
9.6-10.0	93	43	10	41
10.1-10.6	100	43	12	46
10.7-11.8	104	47	12	46
11.9	108	47	12	46
12.0-13.0	108	51	12	46
13.5, 14.0	132	72	16	48
15.0	142	76	20	50
15.5, 16.0	146	80	20	50
16.5, 17.0	150	84	20	50
17.5, 18.0	153	87	20	50
18.5	156	90	20	50
19.0	164	90	25	56
19.5, 20.0	168	94	25	56

直径 1.0-13.0mmは0.1mmとび
13.5-20.0mmは0.5mmとび

SG-ESSドリル (ショート)

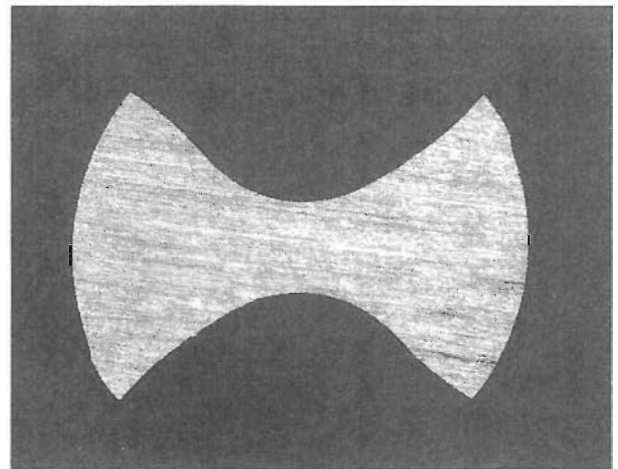
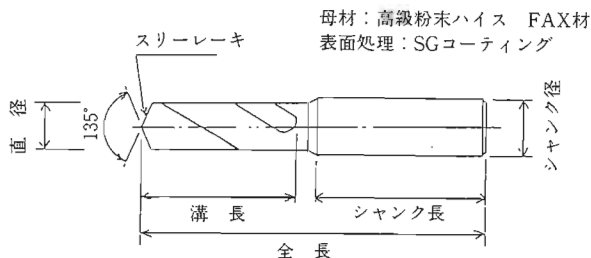


図14 SG-ESSドリルの断面

SG-ESドリルはレギュラータイプであり、直径の7~8倍の深穴をステップ送りなして、高能率・高精度加工できる。切れ刃は適切な切りくず分断性をもつX形シンニングで、心厚は直径の30%と大きくウエブテーパをなくして切りくず排出性を向上させた。表2に寸法表、図15に断面形状を示す。

SGドリルシリーズの特徴をまとめると次のようになる。

- ① エンドミルタイプの太いシャンクを基準に、振れが小さく高品位の切れ刃を持つため、拡大代が小さく高精度な穴を安定的に得ることができる。
- ② ハイス工具用に開発したTi-C-N系の複合多層膜SGコーティングと、耐チップング性に優れた高級粉末ハイスFAX母材の採用により、長寿命が得られ再研削後も寿命低下が少ない。
- ③ ねじれや曲げ変形が少ない高剛性の断面形状により、高能率加工できる。一般に溝長がショートとレギュラータイプでは、共通の断面形を用いることが多いが、SGシリーズでは、用途による最適化のためSG-ESSとSG-ESドリルは異なる断面形状を採用した。
- ④ 切削条件最適化の研究により、寿命と切削条件の関係を明確にした。

表2 SG-ESドリルの寸法表

直径	全長	溝長	シャンク径	シャンク長
2.0-2.1	56	24	3	28
2.2-2.3	56	25	3	28
2.4-2.6	61	30	3	28
2.7-3.0	64	33	3	28
3.1-3.3	68	36	4	29
3.4-3.7	71	39	4	29
3.8-4.0	75	43	4	29
4.1-4.2	85	43	6	38
4.3-4.7	89	47	6	38
4.8-5.3	94	52	6	38
5.4-6.0	99	57	6	38
6.1-6.7	107	63	8	40
6.8-7.5	113	69	8	40
7.6-8.0	119	75	8	40
8.1-8.5	125	75	10	42
8.6-9.5	131	81	10	42
9.6-10.0	137	87	10	42
10.1-10.6	144	87	12	48
10.7-11.8	151	94	12	48
11.9-13.0	158	101	12	50
13.5, 14.0	168	108	16	52
14.5	173	114	16	52
15.0	180	114	16	52
15.5, 16.0	185	120	20	56
16.5, 17.0	189	125	20	56
17.5, 18.0	194	130	20	56
18.5	198	135	20	56
19.0	206	135	25	60
19.5, 20.0	210	140	25	60
20.5	214	145	25	60

直径 2.0-13.0mmは0.1mmとび
13.5-20.5mmは0.5mmとび

SG-ESドリル (レギュラー)

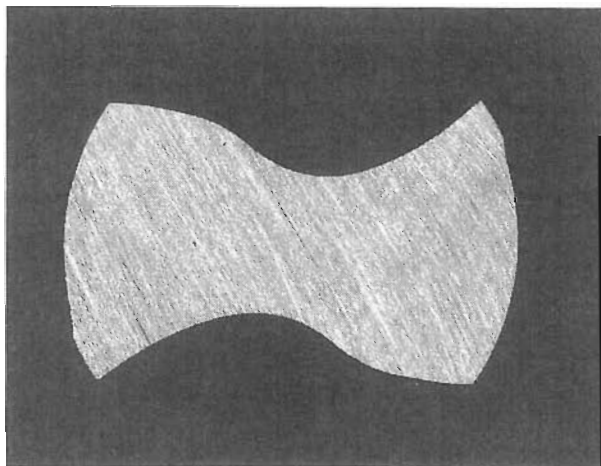
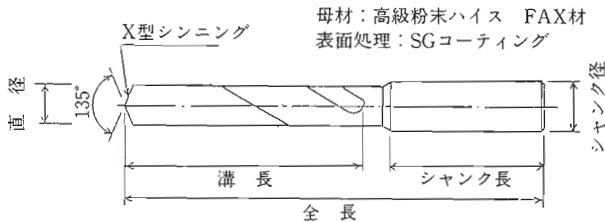


図15 SG-ESドリルの断面

6. おわりに

ドリルの寿命や加工精度について、切削速度、送り量との関係を定量化し等寿命線図や等拡大代線図として表示することを紹介した。これにより工具特性の評価が容易になり開発手法として有効なだけでなく、ユーザの支援に役立てることができた。

新手法を用いて開発したSGドリルシリーズは、高精度・高能率・長寿命を追求したドリルである。センタリングや仕上げ工程不要による工程縮減ができ、調質鋼・耐熱鋼など難削材の加工能率に優れ、コスト低減に有益である。

文献

加工技術データファイル 第1集, 第II集



大橋誠司

1963年4月(株)不二越に入社。
1986年工具試験研究係長を経て現在技術一部ドリルトップチームの技師