研 究

振動ドリル切削の研究 (第2報)*

—普通ドリル切削との比較実験—

小 山 富 夫** 足 立 勝 重*** 村 上 浩 三**

Study on Vibratory Drilling (2nd Report)

—Comparison of Conventional Drilling with Vibratory Drilling—

Tomio Koyama, Katsushige Adachi, Kozo Murakami

In 1st report, the vibration mechanisms and the cutting conditions of the vibratory drilling were discussed. In this report, vibratory drilling experiments using the vibrating device mentioned in 1st report were performed. From those results the following merits were confirmed.

(1) The average life of the drill was increased about seven times, where, drill dia.; 3 mm, workpiece material; S 45 C, cutting length; 20 mm (pass through), feed; 0.06 mm/rev, amplitude; 0.06 mm, dry cutting.

(2) In deep drilling, the average life of the drill doubled, where, the drill dia.; 3 mm, L/D : 10–20, feed; 0.1 mm/rev, amplitude; 0.04 mm, wet cutting.

(3) Both the straightness and the roughness of the drilled hole were improved.

1. 緒 言

ドリル作業の機械加工に占める割合は非常に多く、特に、加工の自動化が進めば進むほどドリル作業の重要性が認識され、進歩が要請されている。振動切削は普通切削に比べて、工具寿命の増大、切削抵抗の軽減、加工精度の向上などの長所が指摘されている¹⁾が、一般に装置が高価となる。

本研究はアタッチメントとして安価にできる特殊なフック継手の機械的振動源を用いドリルに軸方向振動を与えた振動ドリル切削に関するものである。前報²⁾ではフック継手の振動発生機構ならびに振動ドリル切削諸元について解析した。

本報では振動ドリル切削と普通ドリル切削とのドリル寿命の比較試験を行い、前者がドリル1本あたりの穴あけ寿命個数が大幅に増大し、加工穴面の粗さならびに垂直度が向上するなどの結果を得たので報告する。

2. 実験装置と方法

本実験には、吉良鉄工所製ボール盤(KDOG-420)に、フック継手振動発生装置を取りつけて振動ドリルの切削

試験を行った。

図1は軸方向振動を発生させる特殊なフック継手で、アタッチメントとして直立ボール盤の主軸部に簡単に取り付けられるように製作されている。振幅はスライドベースの移動による折れ角 ϕ の変化によって自由に選定できる。送りは無段変速機付モータにより0.015~0.15 mm/revの範囲に変えられるようにした。

表1に穴あけ寿命比較試験の実験条件を示す。実験は深穴切削の場合以外は乾式切削で行い、ドリルは市販の高速度工具鋼9種(JIS SKH 9)製の直径3 mmの標準ツイストドリル(ねじれ角25°,先端角118°,逃げ角18°,リード19.0 mm,ウェブ0.6 mm)を使用した。ドリルの回転数は1000 rpm一定である。被削材は機械構造用炭素鋼S 45 Cの丸棒を直径50 mm,長さ20 mmに旋削

図1 フック継手振動発生装置

* 原稿受付 昭和49年10月25日。昭和47年度精機学会春季大会学術講演会(昭和47年4月7日)および昭和48年度精機学会春季大会学術講演会(昭和48年4月7日)ならびに昭和48年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和48年10月8日)にて発表。

** 正会員 大阪工業大学(大阪市旭区大宮5-16-1)

*** 正会員 大阪産業大学(大東市中垣内3-1-1)

表1 実験条件

ドリル	ツイストドリル 3mm SKH 9		
	標準ドリル	ロングドリル	
被削材	S45C (H_B 161~200)	S45C (H_B 161~200)	S45C (H_B 161~200)
穴深さ (mm)	20 (貫通)	30 (貫通)	45, 60 (貫通)
回転数 (rpm)	1 000	1 000	1 000
送り (mm/rev)	0.06	0.1	0.1
振幅 (mm)	0.06	0.04	0.04
振動数 (Hz)	33	33	33
切削油	乾式	水溶性切削油	水溶性切削油

仕上したものを用いた。トルク、スラストの測定はひずみゲージを使用した切削動力計と動ひずみ計によって行い、出力を電磁オシログラフに記録した。

3. 実験結果と考察

3.1 標準ドリルによる振動切削と普通切削との比較

本節では直径 3 mm の標準ドリルを使用し、厚さ 20 mm の被削材を乾式で切削した場合の両切削法について、ドリル寿命、切りくず形状、切削抵抗、面粗さ、垂直度などの比較試験を行った結果について述べる。

3.1.1 穴あけ寿命個数の比較

図2は振動切削と普通切削について、ドリル1本あたりの穴あけ寿命個数を比較した結果である。穴あけ深さは 20 mm 貫通であり、振動切削の振幅は 0.06 mm で一定とした。ドリル寿命の判定はドリルが折損したとき、または切削時に異状音が発生して、穴あけ不能になったときまでの穴あけ数とした。

振動切削の場合はドリル1本あたりの穴あけ数の最高は 599 個、平均で 167 個となり、普通切削の場合は最高 141 個、平均で 24 個の寿命個数となった。すなわち、振動切削は普通切削にくらべて平均個数で 7 倍の寿命個数の増大となり、ドリル寿命が大幅に向上する結果を得た。

一般に、ドリルの穴あけ作業においては切りくず排出の難易がドリル寿命に大きな影響を与えるが、振動切削の場合は、第1報で述べた、すくい角および逃げ角の周期的変動、切りくず厚さ比の変化により後述の切りくず排出状態の改善がドリル寿命に好影響を与えたものと考えられる。なお、図2の穴あけ個数のばらつきの主要原因には被削材の硬度の差とドリル切れ刃の不ぞろいと考えられる。被削材については熱処理を行わずに用いたため硬度のばらつきが大きくなった。実験に際しては1本のドリルに使用する被削材は同一硬度のものとした。

次に、ドリルの刃先形状のばらつきの程度はメーカに

図2 穴あけ寿命個数の比較

ドリル径: 3 mm, 回転数: 1 000 rpm, 振幅: 0.06 mm,
被削材: S45C, 乾式切削

図3 切りくず写真

より大きな差があったので、比較的ばらつきの小さいものを選んだが、試験ドリルには市販ドリルを再研削しないで用いたので、ある程度のばらつきがあった。

3.1.2 切りくず形状

図3は振動切削で振幅を 0.06 mm とし、送りを 0.015 ~ 0.10 mm/rev の範囲に変化させた場合の切りくず形状の一例を示す。送り f が振幅 a_0 より小さい場合は、切りくずが細く、かつピッチの小さいらせん状となって巻きついた形となっている。送り $f=0.06$ mm/rev で振幅 a_0 に等しい場合は片側みぞより排出する切りくずの幅が二つに分断されておのおのが細く、らせん状になる場合が非常に多い。送りが振幅より大きい場合は、らせんピッチの不均一な厚い切りくずとなって排出される場

合が多い。

すなわち、きりくずの形状は f/a_0 により変化するが、寿命試験を行った時の条件 $a_0=f$ の場合には、普通切削にくらべて切りくずは細くなる場合が非常に多いのが特徴といえる。このような $a_0=f$ の場合の切りくず形状になるときは、ドリルみぞからの切りくず排出がよくなり、ドリル寿命がよくなるものと考えられる。また、 $f < a_0$ 、 $f > a_0$ の場合の切りくずではピッチなどの不均一のため、ドリルみぞの切りくずづまりがおこりやすくなり、ドリル寿命にわるい影響を与えたものと考えられる。

振幅を変えた実験に関しては、予備実験の段階で振幅 $a_0=0.02, 0.04, 0.08, 0.1$ mm 各々の場合について、送りを $0.015 \sim 0.13$ mm/rev まで変えてそれぞれの実験を行った。その結果、比較的寿命に好影響を与えた条件が $a_0=f=0.06$ であったので、本実験では、その条件を用いて、 $a_0=0$ の普通切削とのドリル折損までの寿命比較実験を行った。

図4は一例として $a_0=f$ の振動切削の場合と普通切削の場合との切りくずを拡大したもので、どちらも寿命個数が大きい場合の代表的な切りくずを示している。振動切削の切りくず幅は普通切削にくらべて細くなっている。特に、切削初めのコイル状の切りくずは細く、小さくカールした切りくずをだきこんでいるのがみられ、ドリル穴壁で拘束されて排出するところでは、だきこまれた切りくずは2~3ピッチで切断され、外側の切りくずと2本の細い切りくずとなって排出するのがみられる。

すなわち、振動切削の寿命個数が大幅に向上した理由の一つとして、切りくずが小さい幅に分割され、細長くなって切りくずの巻き抵抗ならびに剛性が低下し、切りくずとドリル溝壁との摩擦が減少するので、切りくずの排出が容易になりドリル寿命に好影響を与えたものと考えられる。

3.1.3 ドリル摩耗

図5は穴あけ寿命試験をしたドリルの摩耗状況の一例を示す。いずれも穴あけ個数が多い場合のもので、振動切削は図2のNo.16のドリル、普通切削はNo.4のドリルである。普通切削の場合はドリル肩部の摩耗が特に大きいのに対し、振動切削の場合はリップ部全体が比較的一様に摩耗し、特に肩部の摩耗が小さいことが特徴といえる。

振動切削

普通切削

ドリル径: 3 mm, 回転数: 1 000 rpm, 送り: 0.06 mm/rev, 振幅: 0.06 mm, 被削材: S 45 C, 乾式切削

図4 代表的切りくず形状

切削長さ: 10.12m

切削長さ: 2.86m

振動切削 (No. 16ドリル)

普通切削 (No. 4ドリル)

ドリル径: 3 mm, 回転数: 1 000 rpm, 送り: 0.06 mm/rev, 振幅: 0.06 mm, 被削材: S 45 C, 穴深さ: 20 mm (貫通), 乾式切削

図5 ドリル摩耗写真

ドリル径: 3 mm, 回転数: 1 000 rpm, 送り: 0.06 mm/rev, 振幅: 0.06 mm, 被削材: S 45 C, 穴深さ: 20 mm (貫通), 乾式切削

図6 切削抵抗

すなわち、振動切削のドリルは1/2回転の周期で切削条件が連続的に変化するため、振動による加工波状面の谷と山における切りくず内部の流れ方向の応力の変化が切りくず流れ方向に好影響を与え、このことが切りくずのカールをさまたげ、ドリルスくい面の摩擦を減少させ、構成刃先を防ぎ、切りくず排出抵抗の減少によってリップ部の損傷が少なくドリル寿命に好影響を与えるものと考えられる。

3.1.4 切削抵抗

図6は振動切削と普通切削の切削抵抗(スラスト、ト

図7 測定モデル

表2 垂直度測定結果

ドリル番号	振動切削: θ_{xy} (10^{-1} deg)				普通切削: θ_{xy} (10^{-1} deg)			
	穴あけ個数	1個目	4個目	10個目	穴あけ個数	1個目	4個目	10個目
1	91	1.56	2.52	10.27	11	0.27	27.63	7.97
2	143	1.64	7.36	2.11	49	7.42	13.14	4.24
3	71	4.40	3.05	4.37	44	10.08	1.82	6.32
4	72	5.44	6.57	6.70	143	7.48	10.69	8.89
5	141	4.99	8.17	1.68	13	2.48	3.43	11.14
6	109	4.19	0.75	7.37	13	5.57	5.58	10.01
7	50	8.82	3.98	11.51	17	10.93	6.58	7.99
8	250	5.76	3.24	6.20	9	3.44	13.03	
9	39	22.79	4.18	1.73	8	6.44	11.86	
10	100	0.46	13.98	2.84	10	9.80	10.16	
11	32	3.94	2.89	5.75	20	9.13	8.14	11.33
12	115	7.17	8.90	7.24	5	9.49	7.87	
13	64	5.03	7.53	4.61	14	2.75	4.50	9.23
14	318	4.62	5.08	5.06	11	1.19	8.53	4.28
15	166	9.89	17.34	4.65	10	6.64	12.39	
16	506	8.22	2.36	3.81	8	8.58	10.03	
17	129	13.65	12.54	11.18	45	3.49	13.89	5.63
18	599	11.06	8.37	9.13	22	9.71	5.99	12.71
19	306	4.73	12.47	6.47	8	5.96	0.89	
20	53	8.23	7.16	9.47	18	7.69	4.27	11.86

ルク)を電磁オシログラフに記録した結果である。

スラストについては振動切削の場合、軸方向振動を与えているので、その変動幅は大きい、最大値と最小値を単純平均した値は普通切削とはほぼ同じくらいである。

また、トルクについても振動切削、普通切削とも同程度であるが、図のように普通切削では穴あけ数の増加につれて穴あけ貫通前に異状音を発し、トルクが急激に上昇するという現象が振動切削にくらべ多くみられた。

3.1.5 加工精度の比較

次に、穴あけ寿命個数を比較実験した試料について加工穴の垂直度を現場的なテストバー方式により測定した結果ならびに加工穴の表面粗さについて述べる。

図7は垂直度の測定モデルを示す。XZおよびYZ面上におけるドリル穴中心線の投影線とZ軸とのなす角をそれぞれ θ_x, θ_y 、穴中心線とXY面との交点の座標を δ_x, δ_y とおき、 l を測定間の距離とすると垂直度 θ_{xy} は次式として与えられる。

ドリル径: 3mm, 回転数: 1000 rpm, 送り: 0.06 mm/rev, 振幅: 0.06 mm, 被削材: S45C, 穴深さ: 20 mm (貫通)

図8 垂直度の標準分布曲線

$$\theta_{xy} = \tan^{-1} \frac{(\delta_x^2 + \delta_y^2)^{1/2}}{l}$$

上式より垂直度を求めた結果を表2に示す。測定したドリル穴は両切削ともドリル20本についてのもの、穴あけ個数1, 4, 10個目のそれぞれの場合における垂直度を示している。また、各ドリルの穴あけ寿命個数も記した。

図8は表2の全個数について両切削の垂直度をヒストグラムと分布曲線とで表したものである。

振動切削の θ_{xy} は $0.46 \times 10^{-1} \sim 22.79 \times 10^{-1}$ degの範囲に分布しており、その平均値 $\bar{\theta}_{xy}$ は 6.53×10^{-1} degである。普通切削の θ_{xy} は 0.27×10^{-1}

$\sim 27.63 \times 10^{-1}$ degで、平均値 $\bar{\theta}_{xy}$ は 8.02×10^{-1} degとなった。また、振動切削の標準偏差 σ は 2.98×10^{-1} deg、普通切削の σ は 3.92×10^{-1} degで、平均値、標準偏差ともによれていることがわかる。

図9は振動切削と普通切削における穴あけ加工面の形状とその表面粗さの一例を示したものである。普通切削の加工面は、むしれたような形状であるが、振動切削では、比較的平滑で光沢のある加工穴面となっている。また、表面粗さは振動切削の場合 $15 \sim 25 \mu\text{m}$ で、普通切削の場合の $25 \sim 35 \mu\text{m}$ にくらべてよくなっている。さらに、普通切削の加工面は穴深さに比例して表面粗さがわるくなるが、振動切削の加工面は穴深さにかかわらず、ほぼ一定の粗さを示す場合が多いのが特徴である。

3.2 ロングドリルによる深穴切削実験結果

ドリル寿命は穴深さの増大によって、著しい影響を受ける。ボール盤によるツイストドリルの深穴加工に対しては、加工深さが直径の5~10倍の深さになると切りくずづまりがおこるので穴あけが困難になる。そこで、ド

図9 代表的な穴表面と粗さ曲線

表3 ドリル 諸元

ドリルサイズ	穴深さ (mm)	試験ドリル数	ドリル長さ (mm)	
			みぞ長	全長
標準ドリル	30	10	42	68
ロングドリル	45	10	50	100
	60	10	65	125

ドリル直径の10~20倍の深さの深穴加工について振動切削と普通切削との寿命比較試験を行った。表3に使用したドリルの諸元を示す。切削油はソリュブル型水溶性切削油(JIS W2種1号)を用い、毎分1.2ℓを注油した。

ドリル寿命の判定は3.1節で述べたと同様であるが切りくずづまりによる異状音を発生しだすとドリル折損が

生じるので、手送りステップによって切りくずを排除する方法をとり、穴あけ深さが30 mmまでは2ステップ、45 mmまでは4ステップ、60 mmまでは8ステップまでを可能穴あけ限界深さと定めて比較試験を行った。

また、被削材のばらつきによるドリル寿命の相違をできるだけおさえるために両切削の試験ドリル番号の同じものに対しては、同一被削試験材を使用して穴あけ位置を円周上で交互にえらんだ。ドリルは3 mmの標準ドリルとロングドリルを使用した。ともに、材質はSKH9である。切削条件は湿式切削の場合、乾式切削に比べ振動切削、普通切削とも送りを大きく、また振動切削時の振幅は多少小さくする方が良好な結果が得られたので、深穴加工時の送りは0.1 mm/rev、振幅は0.0 mmとした。

図10は試験結果で、穴あけ深さを30 mm、45 mm、60 mmと変えた場合の穴あけ深さに対する穴あけ寿命個数をそれぞれ比較したものである。穴あけ深さ30 mmの場合、振動切削の平均穴あけ個数は261個、普通切削は127個となり、振動切削の方が約2倍の寿命となっている。穴深さが50%増して45 mmとなると振動切削、普通切削とも穴あけ個数は30 mmの場合の1/2以下となり、さらに60 mmとなると1/4以下となっているが、両者とも振動切削の工具寿命は普通切削のほぼ2倍となっている。さらに図10よりステップ数と穴あけ個数との関係を求め図11に示す。同図は縦軸に試験ドリル10本についての平均穴あけ個数を取り、横軸はステップの回数を示したものである。すなわち、ステップ数を限定

図10 深穴における比較実験

ドリル径: 3 mm, 回転数: 1 000 rpm, 送り: 0.1 mm/rev,
振幅: 0.04 mm, 被削材: S 45 C, ソリュブル型水溶性油

図 11 ステップ回数と穴あけ個数

した場合のその条件に対する穴あけ個数を比較したものである。図から、振動切削の方が少ないステップ数で穴あけすることができることがわかる。

ドリル寿命が平均2倍近く増大する原因として、振動切削は切削油が浸透しやすいことによる工具の冷却効果と前述の切りくず排出抵抗の減少が考えられる。

4. 結 言

特殊な十字ピンをもつフック継手を振動発生源としてドリル1回転あたり2回の軸方向振動を与えて切削する振動切削と従来の普通切削との比較試験を3mmドリル

を使用して行った結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 穴あけ深さ20mm(貫通), 被削材S45Cの場合, 乾式切削による穴あけ寿命個数の比較では, 振動切削は普通切削に比べて, 平均穴あけ個数が約7倍となり大きく寿命が改善された。
- (2) 振動切削の切りくずは普通切削の場合に比べて, 一般に細く柔軟となり, ドリル摩耗も先端リップ部の損傷がきわめて少なくなる。
- (3) 加工精度については穴の垂直度ならびに表面粗さとも普通切削に比べて改善される。
- (4) ロングドリルによる深穴加工の比較試験では, 振動切削のドリル寿命が普通切削の場合の約2倍に増加した。

参 考 文 献

- 1) E. A. Satel, V. N. Poduraev, A. G. Tulstanov and A. A. Suvorov: Vibratory Drilling of Holes in Stainless and Heat Resisting Steels, Russian Engg. J., **42**, 1, (1962) 56.
- 2) 足立勝重, 小山富夫, 村上浩三: 振動ドリル切削の研究(第1報)——振動発生機構と切削諸元の解析, 精密機械, **42**, 12 (1976) 1133.

情 報

産業計測の標準化

通産大臣の諮問機関である計量行政審議会は、このほど計量法体系に関する答申案をまとめ、河本通産相に答申した。

今回の答申は48年8月に通産大臣から諮問された「計量法体系の全面的検討」のうち、48年12月に中間答申されたものを除いており、とくに「計量器の検定検査のあり方」が重要テーマとなっている。

答申の特徴は、法定計量単位の追加や検査手数料の上限変更など計量法改正の技術的問題にとどまらず、行政面で産業計測標準のトレーサビリティ体系の整備促進を打ち出している点である。

通産省はこの答申にそって来年度から積極的に産業界のトレーサビリティ促進を図るが、この一環として官民共同でトレーサビリティ推進委員会を設けることになっている。

ところで、今回の答申内容は、①法定計量単位の追加、②検定検査のあり方、③計量管理の推進、④公害計測の精度向上、⑤適正な計量取引の推進、⑥検査手数料の上限変更——の6項目である。

このうち、計量法改正を必要とする分野では法定計量単位の追加があり、現在、長さ、広さなどを規定している76種の法定計量単位に新たに「物質状態の量の追加」

として①物質質量、②コンダクタンスを加える。これに伴って物質量の計量単位に「モル」、コンダクタンスの計量単位に「ジーメンズ」を定めている。さらに圧力の計量単位に「パスカル」、精度の計量単位に「パスカル秒」、放射能の計量単位に「ベクレル」を加えている。

このほか計量法改正が必要なものには検定検査のあり方のうち、法定計量器に公害計測用流量計と電力取引に使われる力率計および最大需要電流計の追加がある。

また今回の答申にそって通産省の行う計量行政面での新方針に産業計測標準のトレーサビリティ体系の整備促進がある。

これは、現行計量法下では、取引、証明分野では計量の統一が実施されているが、産業計測面では各企業バラバラに実施している計測を国の計測標準にオーソライズすること、つまり国家の計測標準に、個別企業の計測標準がトレース可能、すなわちトレーサビリティということになる。

トレーサビリティの整備促進のために、国全体の産業計測標準体系の中での国立標準研究機関、中間標準供給機関(日本電気計器検定所など)、企業内標準室の三者の役割を明確化して、標準供給を国全体として効率的、有機的に行える体制を整備する必要があるとしている。

(服部 敏夫)