

旋削加工中の被削材に発生する応力・振動に関する研究

(株)日本製鋼所 青野 文朗, 藤村 浩, 小枝 日出夫, 長谷川 久, 高佐 成樹, ○宿村 孝博

要 旨

旋削加工においては切屑の生成と破断の影響などにより切削抵抗が変化し、被削材に加わるトルクが周期的に変動することにより被削材が振動する可能性がある。本報では旋削加工中の切削抵抗及び被削材のひずみを圧電式力センサ及びひずみゲージ・FM テレメータを用いて測定する手法を確立し、試験材を用いて旋削加工中の被削材に発生している応力や振動を定量的に計測することができたのでその内容を報告する。

1. 目的

回転駆動系においては駆動部に加わる負荷変動によって、振動・騒音の増大、位置決め精度の悪化、疲労破壊など様々な悪影響が現れることから、回転中の応力や振動についての研究がなされている。

旋削加工においては切屑の生成と破断の影響などにより切削抵抗が変化し、被削材に加わるトルクが周期的に変動することにより被削材が振動する可能性がある。しかし切削加工の分野においてこれらを論じた研究はあまり見られない。そこで本報では旋削加工中の切削抵抗と被削材のひずみを同時測定する手法を確立し、被削材にどのような応力や振動が発生するか調査することを目的とした。

2. 試験方法

図1に試験材の形状を示す。試験材は12Cr-Mo鋼、硬さはHs45である。試験材形状は軸部のねじり応力(表面せん断応力)が測定し易いように軸径と胴径の段差を大きくし、胴径φD(初期寸法φ430mm)を送り0.6~1.0mm/rev、切込み5mmで加工時に、軸部のねじり応力が1.0kgf/mm²程度となるように軸径をφ91mmに設定した。

図2に各測定機器の取付状況を、表1に使用工作機械・工具・測定機器の一覧を示す。切削抵抗測定のため力センサを図2(A)のように工具先端から80mmの位置に取り付け、工具とともにねじで締め付け固定した。今回使用した水晶圧電式力センサは剛性が極めて高く、固有振動数も高いため振動現象の測定に適しているが、測定方向は主分力方向のみである。次にひずみ測定のために軸部にひずみゲージを貼り付け、被削材(回転体)からのデータ採取方法としてFMテレメータによる送受信を試みた。図2(B)のようにFMテレメータの送信側を被削材に取り付け、受信側アンテナを送信側横に設置、最終的にメモレコーダへと接続した。

切削条件を回転数71rpm、送り1.0mm/rev、切込み5mmとして、胴部全体をセンタ側端面からチャッキング方向へ切削し、胴部端面付近で各データの同時測定を行った(サンプリング周波数1kHz、約60s間測定)。

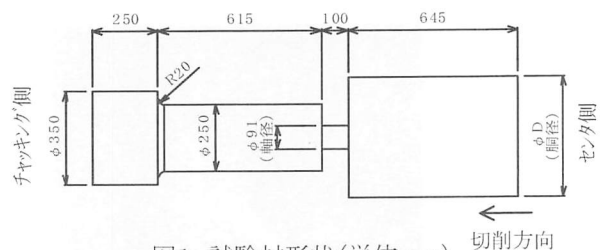
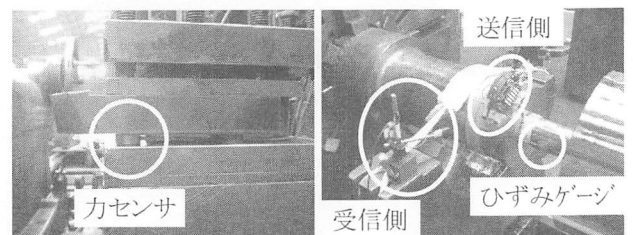


図1. 試験材形状(単位 mm)



(A) 切削抵抗測定

(B) ひずみ測定

図2. 各測定機器取付状況

表1. 使用工作機械・工具・測定機器

名称	メーカー	型番・形状等
中型汎用旋盤	ワイハート	主モータ:AC30kW
19角超硬チップ	三菱マテリアル	SNMG190612:材種UE6005 全周フレカ
力センサ	日本キスター	9103A:ロードワッシャ(圧電式) 5015A:チャージアンプ 測定荷重100kNまで
ひずみゲージ		KFG5-350-D16-11L1M2S ゲージ長5mm 2軸0°/90°交差
近接型FMテレメータ	共和電業	MRT-300A:送信機 MRT-301A:受信機 伝送距離10m以内
メモレコーダ /アナライザ		EDX-1500A CDV60A:測定カード 最大測定数32チャンネル

3. 結果

表2に胴径(φ430~330mm)に対する最大ねじり応力(ひずみ波形の最大値)、切削時の切削抵抗及びひずみ波形の主要振動数、FEM解析(チャッキング側端面の全節点を全拘束、センタ側端面の中心節点を半径方向拘束、ヤング率21000 kgf/mm²、ポアソン比0.3)から求めた被削材の固有振動数(ねじり1次モード)を示す。切削抵抗及びひずみ波

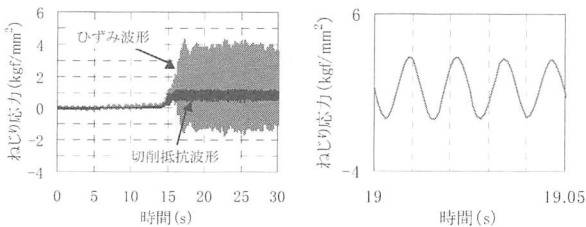
形の主要振動数は波形が安定している部分の 1024 個のデータを FFT 解析範囲とした。一例として図3に胴径 ϕ 420mm, 図4に胴径 ϕ 400mm の測定波形を示す。図3, 4(A)から軸部は切削抵抗によりねじられた状態から振動していたことがわかる。また図3, 4(B)から波形安定後のひずみ波形はきれいな正弦波を示しており、振幅の大小はあるが他の胴径の測定波形でも同様であった。全ての胴径でひずみ波形の主要振動数と FEM 解析の固有振動数(ねじり1次モード)はほぼ一致していることから、軸部は固有振動数でねじり振動していたといえる。

表2から胴径 ϕ 430 及び 420mm での最大ねじり応力は他の胴径と比較して約 2.5 倍大きいことがわかり、このときの切削抵抗波形とひずみ波形の主要振動数は一致している。図5に胴径 ϕ 420mm の各波形に対する波形安定後(19~20s)の FFT 解析結果を示す。一方胴径 ϕ 410~330mm での切削抵抗波形は乱れが多く、主要振動数を特定できなかった。ひずみ波形の振幅増大は切削抵抗波形とひずみ波形の主要振動数が一致した場合に発生しており、このときの各波形の関係は図6に示すようにひずみ波形が切削抵抗波形よりも位相が 90° 遅れる傾向が見られることから、切削抵抗の変動が加振源となり共振が発生していたと思われる。

この切削抵抗の変動(100Hz 以下)に関しては、切屑の生成と破断による影響が考えられる。図7は切削中に採取した切屑であり、切屑長さは 20~25mm が多かった。ここで切屑長さを L(mm), 外径を D(mm), 回転数を S(rpm)とすると、

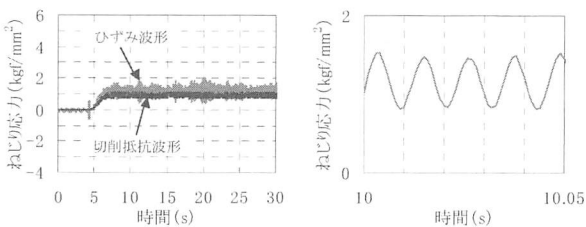
表2. 胴径に対する測定及び解析結果

胴径 ϕ D (mm)	430	420	410	400	380	360	340	330
最大ねじり応力 (kgf/mm ²)	4.82	4.73	1.93	2.23	2.76	1.73	1.75	1.94
切削時の切削抵抗波形 主要振動数(Hz)	76.84	80.08	特定できず					
切削時のひずみ波形 主要振動数(Hz)	76.84	80.08	84.35	88.65	98.2	106.10	118.3	125.20
FEM解析 固有振動数(Hz) (ねじり1次モード)	76.11	79.76	83.68	87.90	97.35	108.39	121.41	128.51



(A) 全体 (B) ひずみ波形拡大

図3. 胴径 ϕ 420mm の測定波形



(A) 全体 (B) ひずみ波形拡大

図4. 胴径 ϕ 400mm の測定波形

切屑の生成と破断による切屑振動数 H(Hz) は

$$H = \pi DS / (60L)$$

と計算される。図8に横軸を胴径として、回転数 71rpm, 切屑長さ 20 及び 25mm の切屑振動数とひずみ波形の主要振動数を比較したグラフを示す。図8から胴径が ϕ 460~420mm 付近で切屑の生成と破断により共振が発生すると考えられ、これは試験結果と一致する。

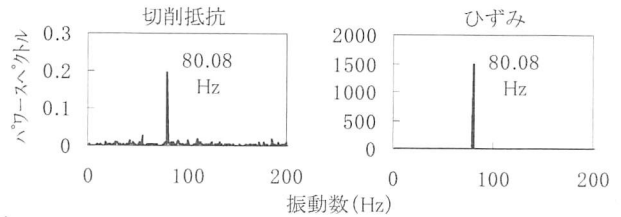


図5. FFT 解析結果(胴径 ϕ 420mm, 19~20s)

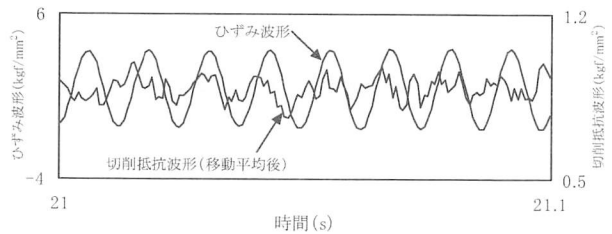


図6. 胴径 ϕ 420mm の各波形比較

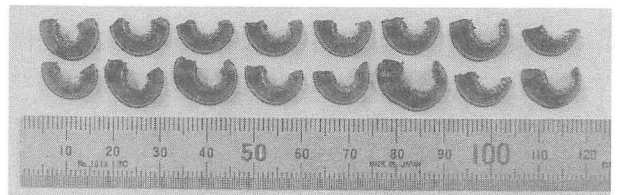


図7. 切屑(長さ 20~25mm)

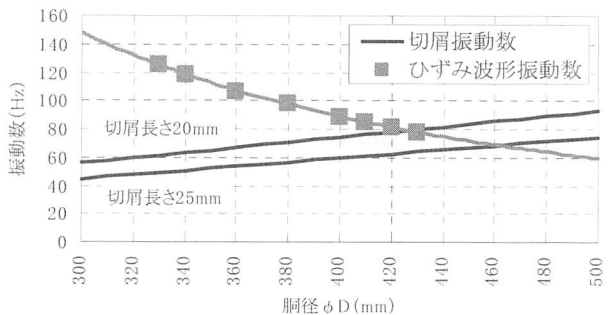


図8. 胴径に対する振動数の推移(回転数 71rpm)

4. まとめ

- ・旋削加工中の被削材に発生する応力とその振動現象を定量的に計測することができた。
- ・切削抵抗波形の主要振動数がひずみ波形の主要振動数(被削材の固有振動数)に一致したとき、ひずみ波形の振幅が増大することから、ねじり振動の共振発生が示唆された。
- ・ねじり振動に影響を及ぼす切削抵抗の変動は試験結果などから判断し切屑の生成と破断による影響が考えられ、この周波数は比較的低い(100Hz 以下)ことがわかった。