

# 超硬バーを用いた傾斜面加工での切削条件が 切削抵抗に及ぼす影響

田淵 大介\* 佐島 隆生\*\* 貝沼 重信\*\*\* 八木 伸暁\*\*\*\* 内田 大介\*\*\*\*\*

## INFLUENCE OF CUTTING CONDITIONS ON CUTTING FORCE IN INCLINED SURFACE MACHINING BY BURRS

Daisuke TABUCHI\* Takao SAJIMA\*\* Shigenobu KAINUMA\*\*\* Nobuaki YAGI\*\*\*\*  
and Daisuke UCHIDA\*\*\*\*\*

In this study, to obtain the fundamental knowledge of machining of grooves in inclined surface by a carbide burr, the cutting tests were carried out on model specimens. The cutting force was measured depending on cutting conditions of the carbide burr. From the experimental results, the condition that cutting depth is small and the feed rate of the carbide burr is high is appeared to be suitable to decrease the cutting force. The cutting force under the cutting for -X direction (down cut is dominant) is found to be larger than that under the cutting for +X direction (up cut is dominant).

Keywords : Burrs, Cutting force, Machining groove

### 1. 緒言

船舶や橋梁等の大型溶接構造物に用いられる面外ガセット溶接継手の疲労強度は、他の溶接継手に比して低いため、これまで様々な疲労強度向上法が提案されてきた。

面外ガセット溶接継手の疲労強度向上法として、グラインダー仕上げが一般に用いられている。この方法は高い応力集中が生じるまわし溶接止端部をグラインダーで仕上げることで、溶接止端部の応力集中を緩和する方法である。この方法では、止端の曲率半径や研削深さ等に関する規定があるが、一般に手作業で行われるため、溶接止端部の加工形状の

品質を一様に確保することが困難になる。また、グラインダー仕上げ後の止端部の3次元形状を製作現場で精度良く測定する手法も確立されていない。そのため、疲労強度の向上効果にばらつきが生じ、場合によっては向上効果が期待できないこともある。

本研究では、この問題を解決する方法として、面外ガセット溶接継手のまわし溶接止端部に一定形状の溝を機械加工により導入する方法に着目した。機械加工によれば常に一定品質の溝形状が得られるため、安定した疲労強度向上効果が期待できる。工作機械による溝形状の形成においては、エンドミルと呼ばれる回転工具が一般に用いられる。エンドミルは鋭利な刃先と精度の高い先端形状を有しており、適切な条件下であれば高品質の溝が加工できる。

しかしながら、エンドミルを用いるには工具を保持する高い剛性の主軸および加工物を固定し、工具との相対運動を行う案内面が必要とされる。そのため、これらの性能・剛性が不足すると工具たわみ等に起因するびびり振動等が発生し、刃先の欠損や加

2017年10月5日受理

\* 機械工学専攻

\*\* 九州大学大学院工学研究院機械工学部門

\*\*\* 九州大学大学院工学研究院社会基盤部門

\*\*\*\* 三井造船株式会社 技術開発本部 技術開発センター

\*\*\*\*\* 三井造船株式会社 船舶・艦艇事業本部 事業開発部

工面品質の低下の要因となる<sup>1)</sup>。本研究で検討している製作現場等の溝加工においては、高剛性の加工機を設置するスペースの不足等の制約から、エンドミルを使用する十分な剛性を持った系で加工を実現することは困難である。

そこで本研究では、多数の切れ刃を持った超硬バーと呼ばれる工具に着目した。超硬バーは手作業によるグラインダー仕上げで一般に用いられるため、剛性が低い系においても切削が可能と考えられる。

手作業によるグラインダー仕上げにおいては、グラインダーを傾けて切削を行うことが一般的である。また、ガセット継手の角回し溶接止端部周辺への溝加工を行うためには、グラインダー主軸とガセットとの干渉を避け工具を傾けて溶接部に刃先を近づける必要がある。このような工具を傾けた状態での加工について、例えば笠原ら<sup>2)</sup>はボールエンドミル加工において工具姿勢が切削抵抗と工具挙動に及ぼす影響について報告している。また、寺井ら<sup>3)</sup>はボールエンドミル加工における工具姿勢と加工精度の関連について報告している。しかしながら、このような状況で超硬バーを用いた加工に関する研究は著者らの知る限りなされていない。

そこで、超硬バーによる加工の基礎的な知見を得ることを目的として、超硬バーで傾斜面切削を行う場合の切削抵抗の測定を行い、切削条件が切削抵抗に及ぼす影響を評価した。

## 2. 試験方法

溝加工には、ヤマザキマザック株式会社製の5軸マシニングセンタ VARIAXIS 500-5X II (図 1) を使用した。溝はグラインダー仕上げの際にグラインダーを一定の向きに傾けて加工する状態を想定し、工作物を X 軸まわりに 45°傾けた状態で傾斜面加工を行った。図 2 および図 3 に示すように、傾けたテーブル上のバイスに治具を介して多成分動力計 (KISTLER 9129AA) を取り付け、その上に工作物を固定して切削中の切削抵抗を測定した。切削抵抗はアンプ (KISTLER 5070A)、データロガー (KISTLER 5697A) を用いて PC に記録した。

工作物は、材質が S50C で幅 90mm、長さ 110mm、厚さ 20mm の形状に加工し、切削面はフライス仕上げしたものを用いた。

実験に使用した超硬バーは工具径 6mm で先端半径 R が 3mm の半球形状のもので、切れ刃部分の形状がらせん状の刃先に加えて交差するような逆向

きのらせん状の溝を有しているクロスカットと呼ばれるものを用いた (図 4)。

切削する溝の形状は、図 5 に示すような面外ガセット溶接継手のまわし溶接止端部周辺の加工を想定したものとした。各部寸法については溝加工時の切削特性の評価に十分な大きさとした。溝の加工の順序は図 6 に示すように、刃先の周速が小さくなる工具中心付近での切削量を減らすため、-Y 方向の加工を行わないように①から⑧の順番で加工を行うパスとした。図中の①でまず工作物に垂直な Z 方向に Z 方向切り込み速度  $V_z$  で切り込み、その Z 方向の切り込み深さを維持したまま、送り速度  $V_f$  で②Y 軸プラス方向に直線の切削、③反時計回りの円弧補間による曲線の切削、④X 軸マイナス方向に直線の切削を行う。④の工程の後、工具を工作物と干渉しない高さまで一度 Z 方向に持ち上げてから高速で⑤の位置まで移動させる。⑤では再び Z 方向に Z 方向切り込み速度  $V_z$  で切り込み、その Z 方向の切り込み深さを維持したまま、送り速度  $V_f$  で⑥Y 軸プラス方向に直線の切削、⑦時計回りの円弧補間による曲線の切削、⑧X 軸プラス方向に直線の切削を行った。さらに溝深さを増加させるには、⑧の後に工具を一旦持ち上げ、①の位置まで移動し、Z 方向の切り込み深さを大きくして再び①から⑧の加工を行う。これらの工程を繰り返すことで、所定の溝深さになるよう加工した。切削抵抗の測定においては各工程の切削抵抗を確認しやすくするために、それぞれの工程後に、5 秒間のドウェル (休止時間) を設けた。

切削条件を表 1 に示す。送りと切り込みをパラメータとし、総切削時間がどの条件においてもおおむね等しくなるように条件を設定した。



図 1 Mazak® VARIAXIS 500-5X II

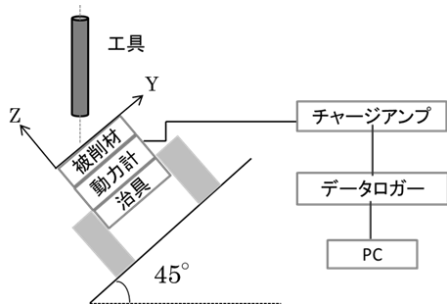


図 2 実験装置の構成

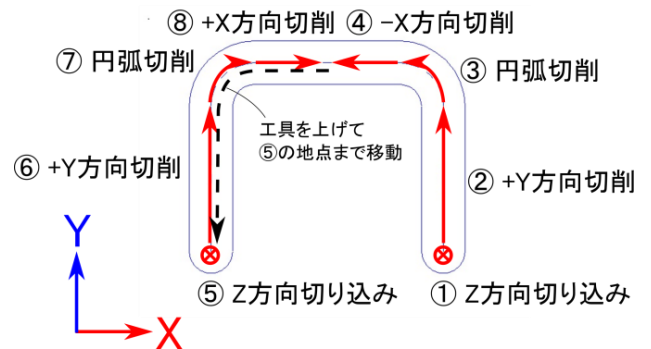


図 6 溝加工の順序（工作物座標系）

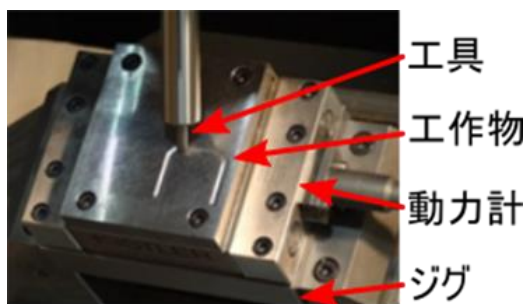


図 3 実験装置外観

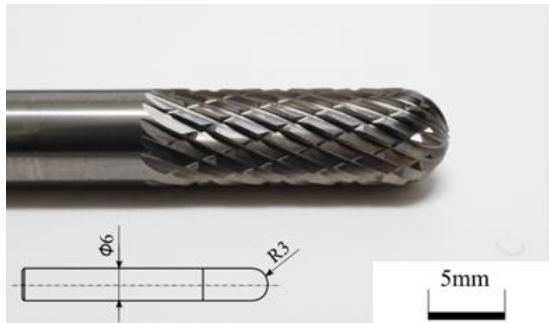


図 4 工具形状

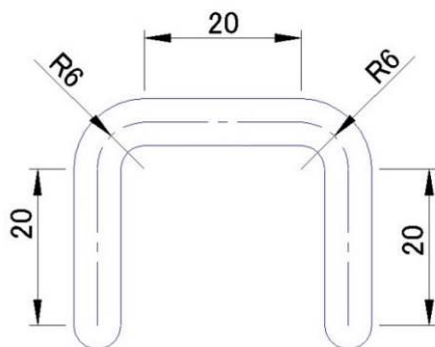


図 5 加工溝形状

表 1 切削条件

使用工具	超硬バー				
工具傾き deg	45 (X 軸回り Y 軸プラス方向に)				
直線方向送り mm/min	400	200	100	50	25
切り込み深さ mm	0.125	0.25	0.5	1	2
最大溝深さ mm	2				
主軸回転数 /min	12000				
Z 方向切込送り mm/min	5				
被削材	S50C				

### 3. 実験結果

溝深さ 2mm となる加工における XYZ 軸方向の切削抵抗の時間変化を切削条件ごとに図 7～図 11 にそれぞれ示す。ここで、切削抵抗の向きについては、XY 軸は図 2 に示す座標系の向きと一致しているが、Z 軸は正逆が反転している。また、図の横軸の①～⑧は図 6 中の工程①～⑧に対応している。

グラフより、工程④と工程⑧、すなわち-X 方向の切削と+X 方向の切削を行う際に比較的高い切削抵抗が生じ、工程②と工程⑥、すなわち+Y 方向の切削では比較的低い切削抵抗が小さいことがわかる。ただし、切り込み深さ 2mm、送り速度 25mm/min の条件においては+X 方向の切削時の切削抵抗が小さく、+Y 方向の切削時の切削抵抗が大きくなっていることがわかる。

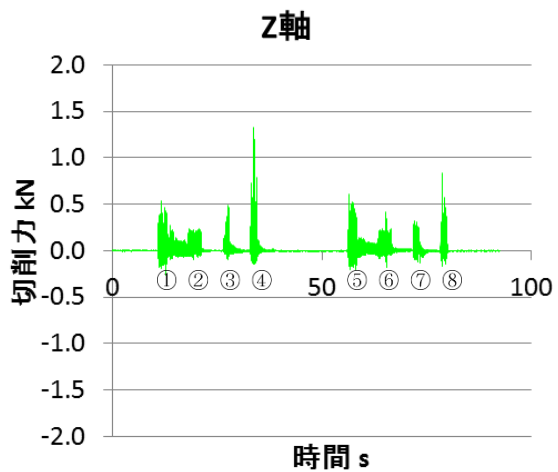
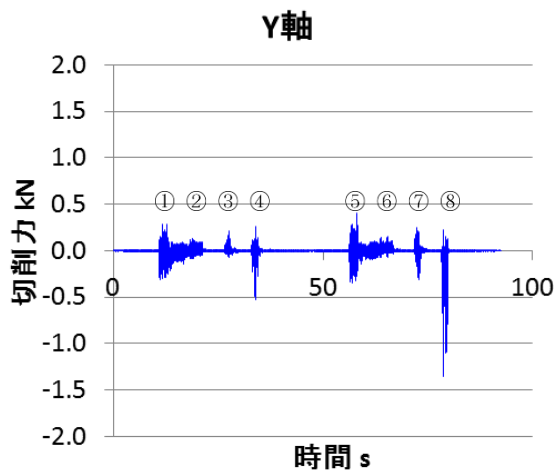
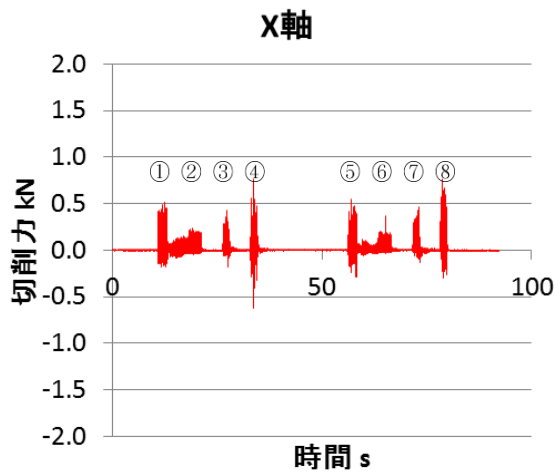


図 7 加工時間に対する切削抵抗の変化  
 上：X軸 中：Y軸 下：Z軸  
 (送り速度 400mm/min, 切り込み深さ 0.125mm)

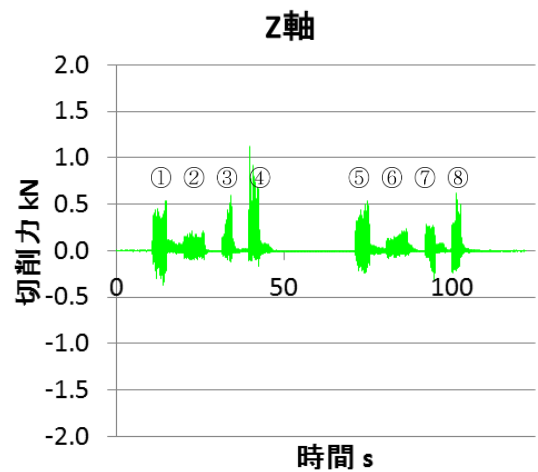
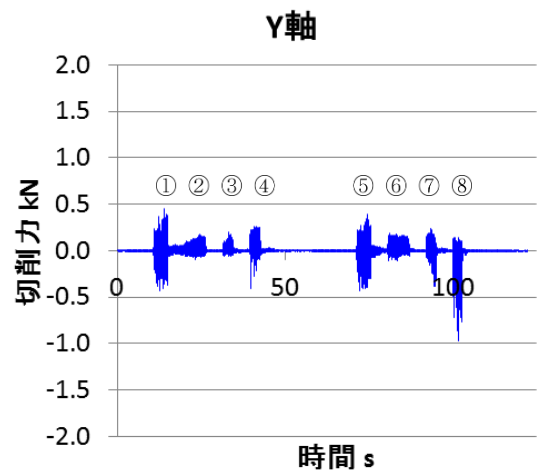
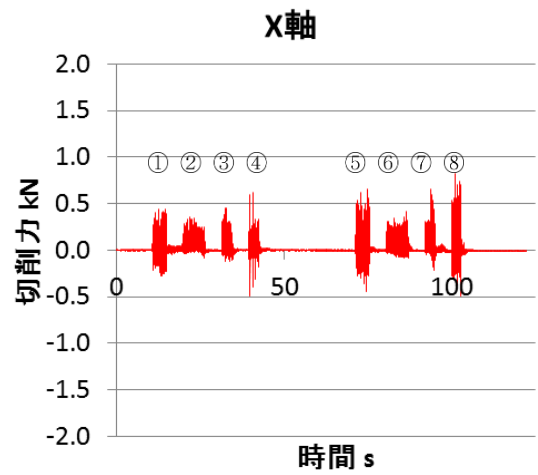


図 8 加工時間に対する切削抵抗の変化  
 上：X軸 中：Y軸 下：Z軸  
 (送り速度 200mm/min, 切り込み深さ 0.25mm)

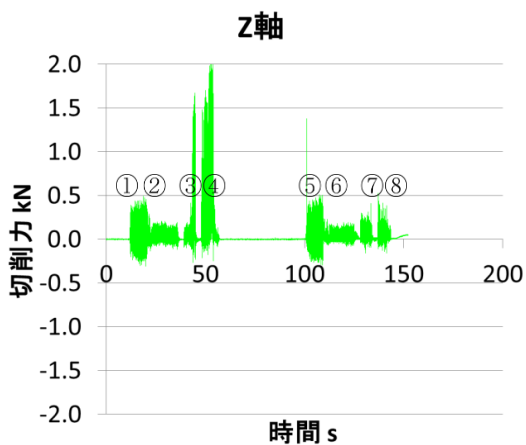
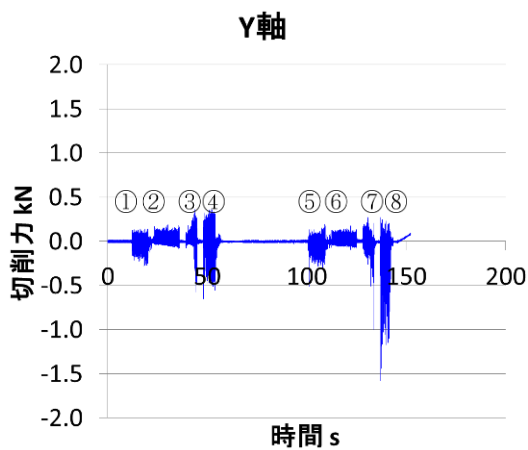
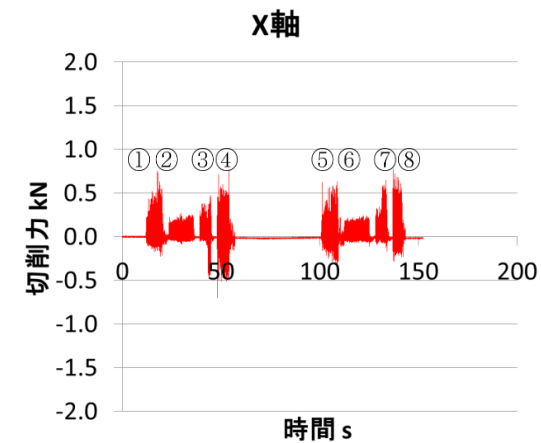


図 9 加工時間に対する切削抵抗の変化  
 上：X軸 中：Y軸 下：Z軸  
 (送り速度 100mm/min, 切り込み深さ  
 0.5mm)

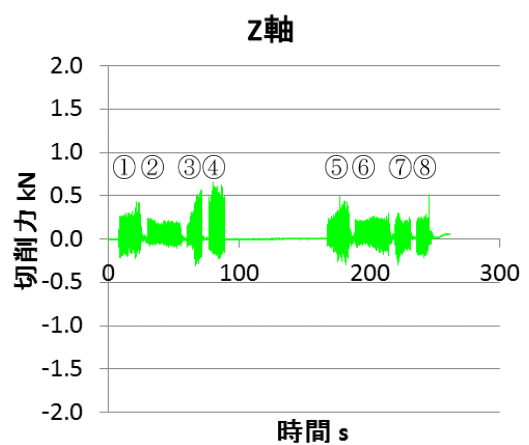
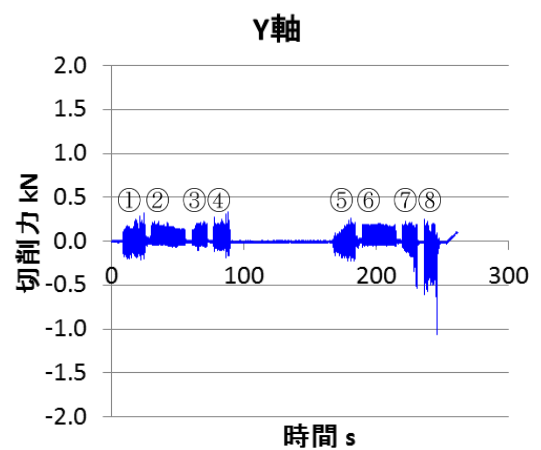
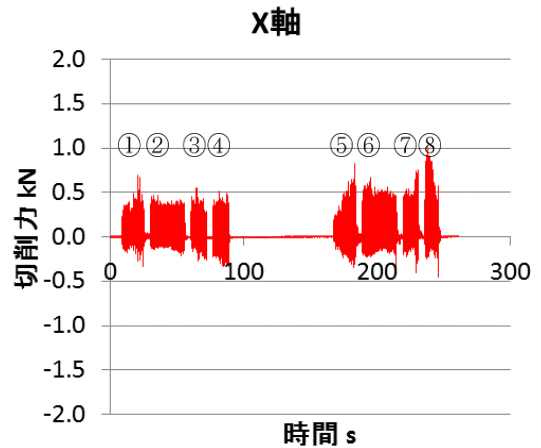


図 10 加工時間に対する切削抵抗の変化  
 上：X軸 中：Y軸 下：Z軸  
 (送り速度 50mm/min, 切り込み深さ 1mm)

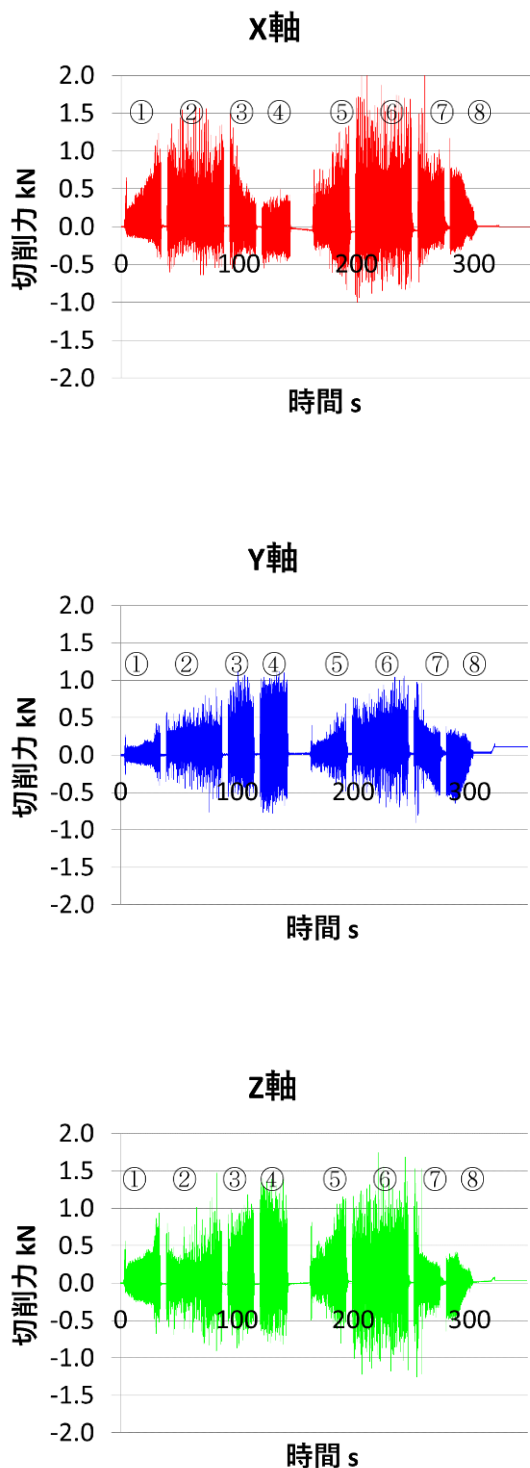


図 11 加工時間に対する切削抵抗の変化  
 上：X軸 中：Y軸 下：Z軸  
 (送り速度 25mm/min, 切り込み深さ 2mm)

#### 4. 考察

加工方向に対する各切削条件での切削抵抗の分力の平均値および振幅の平均値を図 12, 図 13, 図 14 にそれぞれ示す. グラフより, +Y 方向の切削においては切り込み深さが大きくなるほど切削抵抗の振幅が増大する傾向が見られ, 特に切り込み深さが 1mm を超える条件では明確な切削抵抗の増大が見られた. 切り込み深さが 0.125 から 0.5mm の条件ではどれも切削抵抗の平均・振幅ともに大きな違いは見られなかった. +X 方向の切削については, 工具が X 軸回りに+Y 方向に傾いているために切削状態はアップカットが支配的となる. +Y 方向の切削と比べて全体的に大きな値となったが, 切削抵抗の変化に明確な傾向は見られなかった. ダウンカットが支配的となる -X 方向切削については, +Y 方向, +X 方向の切削と比べて Z 軸方向の切削抵抗の平均・振幅が大きくなる傾向が見られた. また, 切り込み深さ 0.5mm, 送り速度 100mm/min の条件において, Z 方向の切削抵抗分力が他の条件と比べて大きくなる結果が得られた.

これらの結果より, 切り込みを小さくし, 送り速度を高めた加工が全般的な切削抵抗の低減に有効であると考えられる. また, -X 方向の切削は+X 方向の切削よりも切削抵抗が大きくなることから, X 方向の溝を加工する際は, 可能な限り+X 方向への加工を行うような工具経路を選択することが望ましいと考えられる.

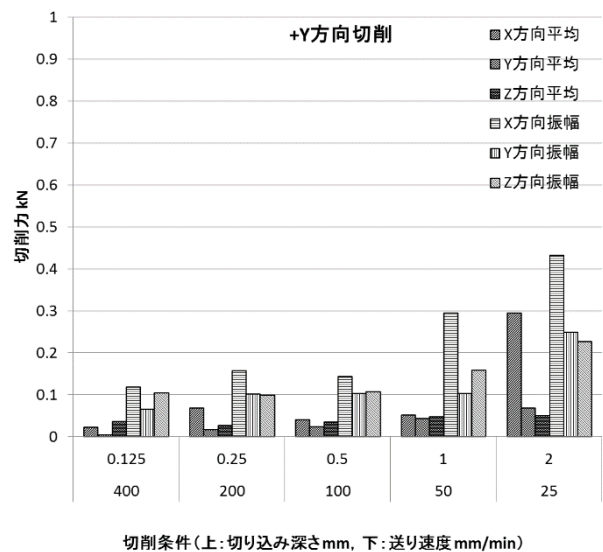


図 12 +Y 方向切削における各切削条件での切削分力の平均値と振幅

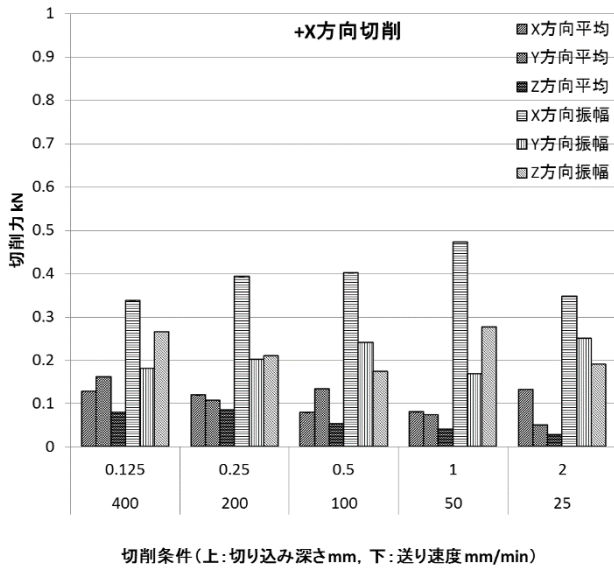


図 13 +X 方向切削における各切削条件での切削分力の平均値と振幅

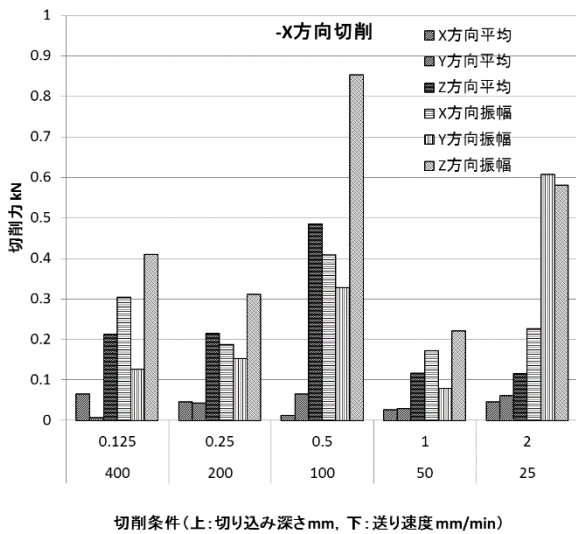


図 14 -X 方向切削における各切削条件での切削分力の平均値と振幅

## 5. 結言

超硬バーによる加工の基礎的な知見を得ることを目的として、超硬バーで傾斜面切削を行う場合の切削抵抗の測定を行い、切削条件が切削抵抗に及ぼす影響を評価した。その結果、以下のことが明らか

となった。

- 1) 切り込みを小さくし、送り速度を高めた加工が切削抵抗の低減に有効である。
- 2) ダウンカットが支配的となる-X 方向の切削はアップカットが支配的となる+X 方向の切削よりも切削抵抗が大きくなることから、X 方向の溝を加工する際は可能な限り+X 方向への加工を行うような工具経路を選択することが望ましい。

## 参考文献

- 1) 嶽岡悦雄, 宮口孝司, 岩部洋育: 高硬度材の高速エンドミル加工に関する研究(第2報)ー空気軸受主軸を搭載した加工機械と転がり軸受主軸を搭載した加工機械の比較ー, 精密工学会誌, **65**, 2, pp.209-213 (1999).
- 2) 笠原和夫, 村田圭介, 鈴木千博, 広田明彦: ボールエンドミル加工での切削抵抗および工具挙動に及ぼす工具姿勢の影響(第1報), 精密工学会誌, **77**, 10, pp.966-971 (2011).
- 3) H. Terai, T. Asao, K. Kikkawa and Y. Mizugaki : Relationship of Tool Orientation and Machining Accuracy on Ball-nosed End Milling, Proceedings of International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, **1**, pp.151-156 (2005).
- 4) 鷹栖基久, 森田昇, 山田茂, 高野登, 大山達雄, 堀功: マイクロエンドミル加工における切削現象に関する研究, 2008 年度精密工学会春季大会講演論文集, pp.147-148 (2008).