

報告番号 <sup>\*</sup> 甲.第 **2003**号

## 主論文の要旨

題名 旋盤作業における被削材の  
びびり振動の発生に関する研究

氏名 川合忠雄

# 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	川合忠雄
<p>旋盤，フライス盤等の工作機械が発明されて以来，加工精度，加工能率の向上を目指して多くの研究や開発が行われてきた．これらの研究の過程で加工精度，加工能率の向上を妨げる大問題がびびり振動の発生であった．びびり振動とは，被削材，工具あるいは工作機械全体が振動して，びびり痕と呼ばれる周期的な痕跡が被削材表面に残る現象である．びびり振動が発生すると，(1) 時間とともにその振幅が大きくなるので作業を続けることが困難になる，(2) びびり痕によって加工面性状を劣化させる，(3) 振動を避けるために，単に加工能率のみを考えて切削条件を決めることができない，(4) 振動によって工具の損耗が激しくなる，等の大きな影響を与えるので，びびり振動を適切に防止することが望まれる．</p> <p>びびり振動についての研究を行なう場合には，びびり振動の発生原因，それに影響を与える因子および発生する振動の特徴を明らかにすること（振動現象の解明），びびり振動の発生しない切削条件を求めること（発振限界の推定）の2点が主要な問題点となる．本論文ではこのうち振動現象，特に，これまでまだ十分には研究されていないびびり振動が発生・発達する切削初期の現象をマイクロコンピュータを用いた測定装置および高速度カメラを用いて詳細に測定した．実験では，旋盤の前後送りによる二次元切削をすくい角の異なる2種類の工具を用いて行った．第2章，第4章ではすくい角<math>-5^{\circ}</math>の工具を，第3章ではすくい角<math>10^{\circ}</math>の工具を，第5章では<math>-5^{\circ}</math>と<math>10^{\circ}</math>の工具を用いた．具体的な研究目的は次の四つの項目においた．</p> <ol style="list-style-type: none"><li>(1) 発振限界を推定するときの基礎となる運動方程式の妥当性の実験による確認</li><li>(2) 切削開始時の切削状態とびびり振動の発生との関係</li><li>(3) 切削力の静特性，動特性に及ぼす工具形状（刃先の丸み，すくい角）の効果</li><li>(4) (3) の特性とびびり振動の発生原因との関係</li></ol> <p>以下には本論文の各章の内容を要約して示す．</p> <p>第1章では，びびり振動についてこれまで行われてきた多くの研究を展望し，本研究を始めるに至った経緯を述べた．</p>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	川合忠雄
<p>第2章では、まず、微小振動が発生してからそれが再生効果によって発達し、振動が発振する様子をマイクロコンピュータを用いて測定し、次に、得られた結果と運動方程式を数値計算した結果とを比較して、数値解析から実際に発生する振動現象をどこまで説明できるのかを検討した。この目的のために、主軸を含む被削材の振動特性（等価な集中質量，減衰係数，ばね定数），切込み深さ <math>d</math> と背分力 <math>F_x</math>，主分力 <math>F_y</math> の関係，微小振動の発達する様子（水平変位 <math>x</math>，鉛直変位 <math>y</math>，切削力 <math>F_x</math>，<math>F_y</math>，切削力と減衰力から計算した系の全エネルギー <math>E</math> および系の保存エネルギーと運動エネルギーの和 <math>E_s</math> について実験結果と解析結果を比較），大きな衝撃を加えた場合に振動の発達する様子（変位 <math>x</math>，<math>y</math>，切削力 <math>F_x</math>，<math>F_y</math>，エネルギー <math>E</math>，<math>E_s</math> について実験結果と解析結果の比較）についての実験および考察を行い，以下の新しい知見を得た。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>(1) 安定な切削中でも切削力の微小変動によって被削材が微小振動していることを実験的に確認した。再生びり振動はこの微小振動が再生効果によって発達するときに発振することを明らかにした。</li><li>(2) 微小振動が再生効果によって発達するときの変位 <math>x</math>，<math>y</math> と切削力 <math>F_x</math>，<math>F_y</math> の関係を安定な切削中に被削材に衝撃を加える実験から明らかにした。</li><li>(3) 切削力と減衰力から計算した系の全エネルギー <math>E</math> と系のもつ保存エネルギーと運動エネルギーの和 <math>E_s</math> を比較したところ，両者はびり振動の発達する場合にもよく一致した。これから，エネルギーを計算するのに用いた被削材の振動特性値が妥当な値であること，変位と切削力の測定が十分な精度でなされたことが確認できた。</li><li>(4) 被削材に微小外乱を加えた場合と衝撃を加えた場合とについて，実験結果と振動系を表す2自由度の運動方程式から数値計算して得られた結果とを比較したところ，振動の発達する様子や変位と切削力の関係について両者は定量的によく一致していた。</li></ol> <p>第3章では，切込み深さおよび工具の刃先の丸みと切削力の静的，動的特性の</p>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	川合忠雄
<p>関係を求め、切込み深さが変化する状態で発生するびびり振動の発生原因および振動の特徴を明らかにした。この目的のために、切込みが深くなる時の切込み深さ <math>d</math>、被削材の鉛直変位 <math>y</math>、水平変位 <math>x</math>、主分力 <math>F_y</math>、背分力 <math>F_x</math>の時間的变化、切り屑が流出する状態の高速度カメラによる撮影、切込み深さ <math>d</math>と主分力 <math>F_y</math>、背分力 <math>F_x</math>との関係、切削開始点の切込み深さ、びびり振動が発生する切込み深さ、切込み深さ <math>d</math>と切り屑厚さ <math>t_c</math>および工具すくい面上の接触長さ <math>l_c</math>との関係、びびり振動が発生しているときの切削力と被削材の変位との関係、切込みが深くなる時の切り屑流出状態のモデルおよびびびり振動の発生原因とその特徴についての実験および考察を行い、以下の新しい知見を得た。</p> <p>(1) 従来、勇田、山本・中村が切削開始点であると指摘した切込み深さまでの切削力の大きさは送り、切削速度等の切削条件によらず切込み深さのみによって決まる。</p> <p>(2) 第3章で扱うびびり振動はこの切削開始点近傍の切込み深さのある限られた範囲においてのみ発生する。</p> <p>(3) 発生するびびり振動の振幅は上記(2)に挙げた切込み深さの範囲を通過する時間が長いほど大きくなる。</p> <p>(4) びびり振動の発生原因は、上記(2)に挙げた切込み深さの範囲において切り屑の流出状態が工具刃先の丸みによって不安定になるためである。</p> <p>第4章では、第3章の結果と比較しながら、すくい角が負である場合にびびり振動の発生原因および振動現象にどのような影響が加わるのかについて考察を行った。この目的のために、切込みが深くなる時の切込み深さ <math>d</math>、被削材の鉛直変位 <math>y</math>、水平変位 <math>x</math>、主分力 <math>F_y</math>および背分力 <math>F_x</math>の時間的变化、切込み深さ <math>d</math>と主分力 <math>F_y</math>、背分力 <math>F_x</math>との関係、切り屑が流出する状態の高速度カメラによる撮影、鉛直方向と水平方向の切削力による連成の効果、切込み深さ <math>d</math>と切り屑厚さ <math>t_c</math>および工具すくい面上の接触長さ <math>l_c</math>との関係、切込みが深くなる時の切り屑流出状態のモデルおよびびびり振動の発生原因とその特徴についての実験および考察</p>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	川合忠雄
<p>を行い、以下の新しい知見を得た。</p> <p>(1) 切込み深さに対する背分力の変化割合が、A、Bの2箇所に変化する。A点は山本・中村の指摘した切削開始点であり、B点は切り屑のすくい面に沿った流出の始まる点である。</p> <p>(2) 上記(1)に挙げたA、Bの2点においてびびり振動が発生する。</p> <p>(3) A点で発生するびびり振動は第3章で考察したびびり振動と同じである。</p> <p>(4) B点でのびびり振動は、切り屑がすくい面に沿って流出するかしないかを繰り返す不安定な切削状態になると、切削力によって被削材の鉛直方向と水平方向の変位に連成が生じるために発生する。</p> <p>(5) 上記(4)のびびり振動はB点近くの限られた切込み深さの範囲において発生する。</p> <p>(6) 上記(5)の切込み深さの範囲を通過する時間が長いほど発生するびびり振動の振幅は大きくなる。</p> <p>第5章では、工具と被削材が離れる場合の振動現象を解明するという観点から、特に切削現象に及ぼす工具刃先の効果について考察した。この目的に従って、旋盤の前後送りによる二次元切削を形状の異なる2種類の工具を用いて行い、切込みが深くなる時の切込み深さ<math>d</math>、被削材の鉛直変位<math>y</math>、水平変位<math>x</math>、主分力<math>F_y</math>および背分力<math>F_x</math>の時間的変化、切削力の静特性と動特性、振動特性の時間的な変化、上記の特性およびその変化をもたらす原因、切り屑の変形と切込み深さおよび切削力の変化との関係、振動が発生しているときの背分力<math>F_x</math>の速度係数の見積りについての実験および考察を行なった。さらに、工具が異なる場合の類似点、相違点も明らかにし、以下の新しい知見を得た。</p> <p>(1) 第5章で扱ったびびり振動は、形状の異なる工具を用いた場合にも、変位と切削力について、その大きさ、変化量およびそれぞれの波形の変化する様子にほとんど差がない。</p> <p>(2) 上記(1)の原因は、異なる工具を用いる場合にも、切込み深さに対する切削</p>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	川合忠雄
<p>力の変化割合が同じになる範囲でびびり振動が発生しているためである。</p> <p>(3) 切削力が切込み深さに対して非線形的に変化するために、切込みが深くなるにしたがって、切削力の変動波形が変化する。</p> <p>(4) 背分力の速度係数の大きさが、山本・中村の示した切削開始点よりも浅い切込みと深い切込みで異なる。第5章の場合には切削開始点よりも浅い切込みでは振動系にエネルギーが入るが、それよりも深い切込みではエネルギーが入らない。</p> <p>(5) 切削開始点よりも浅い切込みにおいては、被削材の振動にともなって切り屑の流出方向が変化する。この切削状態の変化によって切削力の時間的な遅れが生じ、びびり振動が発生する。</p> <p>(6) 切削開始点より深い切込みにおいては、切り屑とすくい面の干渉作用が重要になる。</p>				