



Title	チップブレーカに関する研究
Author(s)	和田, 任弘
Citation	大阪大学, 1986, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1190
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

チップブレーカに関する研究

昭和60年11月

和田 任 弘

目 次

第1章 緒論	1
--------	---

参考文献

第2章 広範囲の切込みと送りに対して切りくず折断可能な	
-----------------------------	--

一チップブレーカ形状	17
------------	----

2.1 緒言	17
--------	----

2.2 実験方法	18
----------	----

2.3 実験結果および考察	19
---------------	----

2.3.1 単一ブレーカ壁の場合	19
------------------	----

2.3.2 複ブレーカ壁の場合	25
-----------------	----

2.4 結言	35
--------	----

参考文献

第3章 切りくず折断様式	37
--------------	----

3.1 緒言	37
--------	----

3.2 実験方法	37
----------	----

3.3 実験結果および考察	38
---------------	----

3.3.1 切りくず折断タイプ	38
-----------------	----

3.3.2 切りくずの断面形状	47
-----------------	----

3.4 結言	57
--------	----

参考文献

第4章 乾式切削における切削性能	61
------------------	----

4.1 緒言	61
--------	----

4.2 実験方法	61
----------	----

4.3 実験結果および考察	63
---------------	----

4.3.1 各種の鋼に対する切削性能	63
--------------------	----

i) 切りくず折断性能	63
-------------	----

ii) 仕上げ面粗さ	67
------------	----

iii) 切削抵抗	70
-----------	----

4.3.2 切削の進行に伴う性能変化	72
--------------------	----

i) 工具損傷	73
---------	----

ii) 切りくず折断性能	79
--------------	----

iii) 仕上げ面粗さと摩耗幅	80
-----------------	----

4.4 結言	87
--------	----

参考文献

第5章 湿式切削における切削性能	89
------------------	----

5.1 緒言	89
--------	----

5.2 実験装置および方法	89
---------------	----

5.3	実験結果および考察	90
5.3.1	湿式切削における切削性能	90
i)	切りくず折断性能	90
ii)	仕上げ面粗さ	98
iii)	切削抵抗	98
5.3.2	切削の進行に伴う性能変化	103
i)	工具損傷	103
ii)	切りくず折断性能	108
iii)	仕上げ面粗さと摩耗幅	111
5.4	結言	114

参考文献

第6章	切りくず折断機構	117
6.1	緒言	117
6.2	切りくず折断様式の分類およびその発生領域	117
6.2.1	実験方法	117
6.2.2	切りくず折断様式およびその発生領域	118
6.3	チップブレーカ各部の作用	127
6.3.1	微小面取りコーナとブレーカ壁	127
6.3.2	すくい面に設けた段およびブレーカ壁	128
6.4	結言	134

参考文献

第7章 総括	----- 135
--------	-----------

謝辞	----- 139
----	-----------

第1章 緒 論

現在，多くの機械工場で，工作機械の無人運転を促進する傾向にある．機械工場の無人化を進めるうえで，とくに大きな問題となるのが生成される切りくずの処理である．切りくず処理の問題は切削時とその後の段階でそれぞれ解決が必要である．切削時より後の段階での切りくず処理については，工作機械メーカーが種々の有効な対策を示している^{1)～6)}．また，この段階での切りくずの適性形状については湊ら^{7) 8)}の報告があり，折断された切りくずの方が，長く連続してからまった切りくずよりも，都合がよい．

切削時の切りくず処理の問題は切削状態とも関連している．切削状態から考えると，

- (i) 切削抵抗の変動が少い，
- (ii) 工具のチッピングなどの欠損が起こりにくい，
- (iii) 良好な仕上げ面を得ることができる

などの理由から，流れ形切りくずの生成が望ましい⁹⁾．このため，切りくずを流れ形にするための研究^{10)～13)}も多数ある．ところが，旋削，中ぐりなどの連続切削時の長く連続した流れ形切りくずは，工作物や工具などからみつき，種々の障害を引起こしがちである．このため，連続した流れ形切りくずを生成させ，かつその切りくずを処理することが必要であり，切りくずを短く折断する方法と，あまり一般的ではないが連続した切りく

ずを導き処理する方法^{14) 15)}とがある。切りくずを短く折断する方法には、チップブレードを利用する方法、切削条件により切りくず形状が変化する^{16) 17)}ことを利用した方法、旋削切りくずが折れやすくなるよう材料にPbなどを添加^{18) ~ 21)}する方法、振動送り切削法^{22) ~ 25)}、ステップフィード切削法^{26) ~ 29)}、揺動切削法^{30) 31)}、回転するシェルエンドミルによって回転する被削材の外周を外接状に切削する方法³²⁾、流出する切りくずに高圧水流をあてて切りくずを切断する方法³³⁾、プレグループ切削法^{34) 35)}、負のすくい角をつけて軽切削時の切りくずを折断する方法³⁶⁾などがある。これらのうち、チップブレード以外の方法は、アルミニウム合金などのように切りくず折断がきわめて難しい被削材の旋削に対してプレグループ切削法が、ドリル加工で送りを変動させる方法が利用されている場合を除き、加工精度や工具寿命が低下し、装置が大掛りになるなどの点で、あまり利用されていない。現場では、チップブレードによって切りくずを折断する方法が優先される。

チップブレードの作用は、流出してくる切りくずを変形させ、せん断領域で受けたひずみにさらに若干のひずみを付加し、切りくずの一部で破断ひずみに達するようにさせて切りくずを折断することである。チップブレードの性能を向上させるには、その作用・機構を明らかにする必要があり、そのために切りくずの流出状態、流出してくる切りくずの形状、切りくずの折れ方を把握することが必要である。中山ら^{37) 38)}によると、定常切りくずの形状は上向きカールおよび横向きカールの曲率と流出角によって一

義的に決まる。切りくずの流出角については二次元切削の場合の研究³⁹⁾ および三次元切削の場合の研究⁴⁰⁾⁴¹⁾がある。また、切りくずの上向きカールについては、Henriksen⁴²⁾，Hahn⁴³⁾，竹山⁴⁴⁾，中山ら⁴⁵⁾，奥島ら⁴⁶⁾の研究がある。

切りくずの折れ方について、田口らは刃先で破断を起こすタイプと刃先から離れた位置で破断を起こすタイプがある²¹⁾とし、さらにそれを3つのタイプ（工具刃先破断形、被削材衝突形、工具逃げ面衝突形）に分類している⁴⁷⁾。また橋本らは、切りくずの形態を4種類に分類し、それぞれの切削機構について考察している¹⁷⁾。中山は切りくずの折れる様式を、3種類（加工物障害形、うずまき形、逃げ面障害形）に分類している⁴⁸⁾。C.Spaansら⁴⁹⁾は切りくずの折れる様式にラセン形を加えている。以上の切りくず折断の様式に共通するのは、鋳鉄などのようにもろい場合を除くと、切りくずが工具、被削材、刃物台あるいは他の場所に当たり流出が妨げられることにより折れることである（この場合、切りくずが何かに当たって流出が妨げられることがないと折れないとしている）。

大きくカールした切りくずの端部が、工具逃げ面に当たって湾曲の外側に曲げられ折断される場合の詳細は、中山⁵⁰⁾，田口⁴⁷⁾，C.Spaanら⁴⁹⁾，W.Kluft⁵¹⁾によってほぼ明らかであるが、これ以外の折れ方については必ずしも明確ではなく、ラセン形の切りくずが折れる機構を明らかにした文献は見当らない。また、それぞれの折れ方の関連が不明である。

さて、チップブレーカの設計を具体的に示した研究⁵²⁾⁵³⁾も多くなされ

ているが、チップブレーカには切りくずを折断することができない切込み、送りの条件が存在する。中山はHenriksen⁵⁴⁾の提案した切りくず流出半径 R_c を一定に保って実験を行い、送りがある限界以下（被削材：S45C，切込み：2mm， R_c ：4.1mmとしたとき，切削速度が2m/sでの限界送りは0.113mm/rev）では切りくずは折断されない⁵⁰⁾とし，さらに切りくずの純曲げ試験を行い，この結果を裏付けている⁵⁵⁾。また，Y.Z.Zhang⁵⁶⁾は平行ブレーカ幅を変えて実験を行い，切りくずが折断される最小送りが存在するとしている（切込み1.0mmの場合，最小送りは0.195mm/rev）。その他の文献でも，チップブレーカでは，ある切込み，送りより小さい切りくずが折断されないことを示している^{57)~61)}。たとえば，湊らは数種類の平行形ブレーカで実験を行い，0.1mm/revの低い送りに対しては，完全にチップブレーカの役目を果たさず，少なくとも0.2mm/rev以上の送りにすることが望まれる⁶¹⁾としている。従って，平行形ブレーカにより切りくずを折断することができる最小送りは0.1~0.2mm/rev程度であると考えられる。このように，切込み，送りが比較的小さい仕上げ旋削（ $S \leq 0.2\text{mm/rev}$ ， $a \leq 1.0\text{mm}$ ， $V=2\sim 3.5\text{m/s}$ の切削条件が常用される）では切りくずが薄くなり，切りくずは折断されにくい。そこで，この薄い切りくずを折断するための研究が多数ある^{17) 62)~64)}。このうち，中山⁶³⁾や谷戸⁶⁴⁾は平行形やネガティブリード形ブレーカとは異なり，切りくずの断面を湾曲させることによって切りくずを折れやすくした曲面すくい面をもつ工具を考案し，小切込み，低送りで切りくずを折断することが

できるとしている。これらの曲面すくい面を持つバイトでは広範囲の切込み，送りにおける切りくず折断の有効性は示されていない。また市販のブレーカでは，超硬合金の型押し製造の技術向上により，複雑な凹凸の形状がすくい面についた型押しブレーカ（M級ブレーカと称され，従来の砥付けブレーカ，P級ブレーカと区別され，一種の曲面すくい面を持つ工具と同様な作用を持つ）が仕上げ切削用として市販されている。F.O.Rash⁵⁹⁾はこの型押しブレーカ（仕上げ用）を用い，砥付けブレーカよりも軽切削時の切りくず折断が良くなるとしている。また，三菱金属社製の全周ブレーカは切込み0.05～1.5mm，送り0.03～0.2mm/rev，また別の全周ブレーカは送り0.15～0.6mm/revが推奨切削条件⁶⁵⁾であり，住友電気工業社製の全周ブレーカでは切込み0.2～1.0mm，送り0.053～0.21mm/rev（被削材：SCM435，切削速度：2.5m/s）で切りくずが短く折断されている⁶⁶⁾。これらの全周ブレーカの場合，推奨切削条件の範囲があり，仕上げ用と中・荒切削用とが使い分けられている。そのため，切削中に加工条件が変わ

脚注＊ 谷戸らの場合，S25C（焼ならし）の仕上げ旋削に対し，切込み0.1，0.3，0.5mm，送り0.009～0.05mm/rev，切削速度2.0～3.33m/sで切りくずが折断される。しかし，切込み0.5mm，送り0.05mm/revを越える範囲では報告がない。また中山らの場合には，切込み1.0mmで送り0.10mm/rev，切込み0.5mmで送り約0.20mm/rev以下では切りくずは折断されていない。

るような場合，すなわち素材寸法の変動や加工部分の形状により切削中に切込みが変化する場合や，また部分的に仕上げ面を良くするため送りを小さくするなど，切削中に送りを変えたい場合などでは，確実に切りくずを折断するのに不都合な状況にある．そこで，仕上げ旋削領域で有効なブレーカの要素と中・荒切削領域で有効なブレーカの要素との2つ以上の異なるブレーカ要素を組合わせて荒切削から仕上げ切削まで広範囲の切りくず処理を行うことができるようにしたチップブレーカが市販されている⁶⁷⁾．たとえば，三菱金属社製のドットブレーカ，T（2段）ブレーカあるいは東芝タンガロイ社製の27形ブレーカなどがそれである．ドットブレーカは主に小切込みの場合にドット（突起）が有効に働くようにしたもので，小切込み，低送りの領域が汎用ブレーカに比べ広がりとしているが，切込み0.5mmの場合，送りが0.17mm/rev未満で，また切込みが1mmや2mmの場合，送りが0.15mm/rev未満で切りくずは折断されない⁶⁸⁾⁶⁹⁾．T（2段）ブレーカはいわゆるマルチグループ⁷⁰⁾であり，切込みが1mm以下では切りくずは折断されない⁶⁸⁾．また27形ブレーカは，切込み0.5mm以下，あるいは送り0.15mm/revでは切りくずは折断されない（被削材：S48C，切削速度：1.67m/s）⁷¹⁾．以上述べたチップブレーカでは，従来の仕上げ用ブレーカあるいは中・荒切削用ブレーカよりは切りくず折断可能な範囲が広がっているが，前述のように仕上げ切削で常用される切削条件での切りくず折断が不十分であり，仕上げ切削の条件を含む広範囲の切削条件で切りくず折断することのできるチップブレーカの開発が強く要望されている．

そこで本研究では、切削時の切りくず折断が比較的難しいとされる鋼（SS41，SCM440，S55C，SUS304，SK5）の旋削を対象に、切りくず折断領域が広いとされている市販のチップブレード（たとえばドットブレードなど）よりも広範囲の切込みと送り（とくに低送りにおいて）で切りくずを折断することができるチップブレードを開発し、さらにこのチップブレードの切りくず折断機構を明らかにすることにより、広範囲の切削条件で切りくず折断可能なチップブレードを開発するための有用な情報を得ることを目的として一連の実験を行った。

本論文の構成は以下の通りである。

第2章では、SS41の乾式切削において切込みと送りの広い範囲で切りくず折断可能なチップブレード形状を求めた。

第3章では、SS41の乾式切削に対し、第2章で求めたチップブレードの切削状態を高速度カメラで撮影解析し、また切りくず断面を調べることに より、様々の切りくず折断プロセスを明らかにし、切込み－送り平面上に それらの切りくず折断タイプの発生領域を示した。

第4章では、SS41以外の鋼（SCM440，S55C，SUS304，SK5）の乾式切削 に対する本チップブレードの切りくず折断性能と切削性能を調べた。

第5章では、第2章で求めたチップブレードの湿式切削における切りくず折断性能と切削性能を調べた。

第6章では、実験に用いた5種類の鋼（SS41，SCM440，S55C，SUS304，SK5）の乾式切削および2種類の鋼（SS41，SCM440）の湿式切削を通しての

本チップブレードによる切りくず折断プロセスを明らかにするとともに、
本チップブレード各部の作用について検討を加え、本チップブレードの切りくず折断機構を明らかにした。

第7章は本論文の総括である。

参考文献

- 1) 安川久一：切りくずの搬出処理，機械技術，21，11（1973）37.
- 2) 本宿太市，森一美：自動車部品加工と切りくず対策，機械技術，28，4（1980）49.
- 3) 野村倬司：深穴あけ加工と切りくず処理，機械技術，28，4（1980）58.
- 4) 牧野裕次：切りくず搬送の基礎知識，マシニスト，27，6（1983）38.
- 5) 林正博：夜間無人運転（シリンダヘッド加工）における切りくず対策，機械技術，29，12（1981）52.
- 6) 鷲見重美：DNC自動加工ラインにおける切りくず対策，機械技術，29，12（1981）48.
- 7) 湊喜代士，豊島敏雄，垣野義昭：切りくず処理に関する研究（第1報）－切りくずを吸込み処理する場合の処理しやすさの評価関数－，精密機械，36，6（1973）596.
- 8) 湊喜代士，豊島敏雄：切りくず処理に関する研究（第3報）－切りくずの油流し処理法－，精密機械，43，7（1977）849.

- 9) 中山一雄：切削加工論，コロナ社，東京，（1978）15.
- 10) 大越諄，上原邦雄：高温切削法に関する研究（第1報）－工具加熱による高温切削法の効果（その1）－，精密機械，26， 5（1960）280.
- 11) 大越諄，上原邦雄：高温切削法に関する研究（第2報）－工具加熱による高温切削法の効果（その2）－，精密機械，26， 6（1960）337.
- 12) 大越諄，上原邦雄：高温切削法に関する研究（第3報）－通電高温切削法の効果（その1）－，精密機械，26， 7（1960）389.
- 13) 大越諄，上原邦雄：高温切削法に関する研究（第4報）－通電高温切削法の効果（その2）－，精密機械，26， 9（1960）535.
- 14) 木村景一：旋削加工における流れ型切りくず処理，昭和52年度精機学会春季大会学術講演前刷，p.67.
- 15) 木村景一：旋削加工における流れ型切りくず処理（第2報），昭和53年度精機学会秋季大会学術講演前刷，p.19.
- 16) 奥島啓式，湊喜代士：鋼切削における切粉の挙動について，日本機械学会論文集（第4部），24， 142（1958）333 .
- 17) 橋本文雄，山崎直樹，杭瀬秀和：切りくず処理に関する研究（第1報）－切りくずの挙動－，精密機械，33， 10（1967）665.
- 18) 谷口和雄，長見茂：合金工具鋼の被削性について（第1報），精密機械，30， 8（1964）645.

- 19) 奥島啓式, 岩田一明: 金属材料の被削性に関する研究 (鉛快削鋼の切りくず生成), 日本機械学会論文集 (第3部), 28, 187 (1962) 404.
- 20) 中村雄造, 若林忠, 大江渉: アルミニウム合金の被削性に関する研究 (第1報) - 切削抵抗, 仕上面あらさおよび切りくず形態について -, 精密機械, 30, 8 (1964) 612.
- 21) 田口三生, 横山一男, 白石政市: 被削材種および切削速度と切りくず生成現象との関係 - 切りくず生成現象に関する実験的研究 (第1報) -, 精密機械, 41, 6 (1975) 552.
- 22) 笠原英志: 振動送り切削法, 機械と工具, 13, 11 (1969) 28.
- 23) 野呂周平: 切りくず処理の現状と問題点 (2), 機械の研究, 27, 11 (1975) 1357.
- 24) 湊喜代士, 豊島敏雄, 盛田昌宏: 振動送り切削における切削力の挙動および切削面粗さ, 精密機械, 46, 2 (1980) 195.
- 25) 和田任弘: 旋削加工における切りくず処理に関する研究 - 振動送り切削 -, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 16, (1980) 21.
- 26) T.Wada, Y.Tanaka: Study on Chip Treatment in Turning - 2nd Report Intermittent Feed Cutting -, Reserch Report of Nara Technical College, 18, (1982) 43.
- 27) 小林茂雄: 内外特許公報からみた工作機械の自動化技術 - 4 - <切りくず処理>, 機械技術, 21, 9 (1973) 114.

- 28) 小林茂雄：特許からみた切りくず処理，機械技術，21，11（1973）
41.
- 29) 米田尚武：N C 工作機械と切りくず対策，機械技術，28，4（1980）
43.
- 30) 広田平一，篠崎 囊：揺動切削による切りくずの折断－揺動切削の研究（第1報）－，精密機械，36，2（1970）135.
- 31) 広田平一，篠崎 囊：揺動切削の仕上面あらさ，精密機械，36，3
（1970）183.
- 32) 栗田肇，打田元美：シェルエンドミルによる外周切削における仕上面に関する二，三の考察，精密機械，43，10（1977）1198.
- 33) F.O.Rasch：Hydraulic Chip Breaking，Annals of the CIRP，
30，1（1981）333.
- 34) 狩野勝吉，能上進：ブレグループによる切りくず処理，昭和54年度
精機学会春季大会学術講演前刷，137.
- 35) 能上進，根岸秀夫，狩野勝吉：旋削加工における切りくず処理技術，
機械技術，27，11（1979）117.
- 36) 井上繁，宮崎利磨：軽切削における負すくい角 -35° の超硬工具の有効性，精密機械，43，2（1977）187.
- 37) K.Nakayama，M.Ogawa：Basic Rules on the Form of Chip in
Metal Cutting，Annals of the CIRP，27，1（1978）17.
- 38) 中山一雄：切りくず形状の幾何学－切りくず形状の研究（第1報）

- , 精密機械, 38, 7 (1972) 592.
- 39) G.V.Stabler : The Fundamental Geometry of Cutting Tool,
Proc. IME , 165 , (1951) 14.
- 40) L.V.Colwell : Predicting th Angle of Chip Flow for Single -
Point Cutting Tools , Trans. ASME , Ser.B,76, 2 (1954) 199 .
- 41) 升田雅博, 原利雄, 賀勢晋: 切りくず処理に関する研究 (第1報)
—切りくず流出方向の把握, 精密機械, 47, 5 (1981) 529.
- 42) E.K.Henriksen : Stress Distribution in the Continious Chip-
A solution of the paradox of Chip Curl -Trans. ASME, Ser.B ,
73, 5 (1951) 461.
- 43) R.S.Hahn : Some Observation on Chip Curl in Metal Cutting
Process under Orthogonal Cutting Conditions , Trans. ASME ,
Ser.B , 75, 5 (1953) 581.
- 44) 竹山秀彦: 高速切削の研究 (第12報) —二次元流れ型切削に於ける
切りくずカール機構の解析 (その1) —, 精密機械, 23, 4
(1957) 140 .
- 45) 中山一雄, 上野山勝, 田村清: 切りくずの湾曲について, 精密機械,
27, 10 (1961) 681.
- 46) 奥島啓式, 人見勝人: 二次元切削における切りくずの湾曲現象, 精
密機械, 25, 7 (1959) 320.
- 47) 田口三生, 横山一男: 切削条件と切りくず破断形態との関係, 精密

- 機械, 47, 8 (1981) 969.
- 48) 中山一雄: チップブレーカによる切りくず折断, 精密機械, 26, 8 (1960) 482.
- 49) C.Spaans, P.F.H.J.VAN GEEL: Break Mechanisms in Cutting with a Chipbreaker, Annals of the CIRP, 18, (1970) 87.
- 50) 中山一雄: チップブレーカの研究, 日本機械学会論文集 (第3部), 27, 178 (1961) 833.
- 51) W.Kluft, W.könig Van Lu Hervelt, K.Nakayama, A.J.Pekelharing: Present Knowledge of Chip Control, Annals of the CIRP, 28, 2 (1979) 441.
- 52) 竹山秀彦, 関口博, 高田孝次: 旋削加工における切りくず処理法—数値制御自動プログラミングの研究 (第1報)—, 精密機械, 36, 2 (1970) 150.
- 53) 奥島啓式, 星鉄太郎, 藤縄孝: 銅切削における切りくずの挙動について (第2報, 平行形チップブレーカの場合), 日本機械学会論文集 (第4部), 25, 158 (1959) 972.
- 54) E.K.Henriksen: Balanced design will fit the Chip breaker to your job; Chip breaker dimensions are critical in taming chips, American Machinist, 98, 9 (1954) 118.
- 55) 中山一雄: 切りくずの純曲げ試験—直接測らずに切削抵抗を求めるための試み—, 精密機械, 28, 9 (1962) 525.

- 56) Y.Z.Zhang : Chip Curl , Chip Breaking and Chip Control of the Difficult-to-Cut Materials, Annals of the CIRP, 29, 1(1980) 79.
- 57) 中谷征司, 森良克: 切りくず処理の実態とその解決のために(1), 機械の研究, 30, 4 (1978) 498.
- 58) 後藤重喜, 小坂知通: 工具からみた切りくず対策, 機械技術, 21, 11 (1973) 30 .
- 59) F.O.Rasch : Tool Failure and Chip Form as Restrictions when Selecting Cutting Data, Annals of the CIRP, 25, 1 (1977) 45
- 60) 関谷英男: 旋削加工の切りくず処理(1), 機械技術, 21, 11 (1973) 45.
- 61) 湊喜代士, 豊島敏雄: 切りくず処理に関する研究(第2報) - 工具形状および切削条件が切りくず処理に及ぼす影響 -, 精密機械, 43, 6 (1977) 708.
- 62) 中山一雄: コーナに丸味をつけないバイト(ゼロRバイト), 精密機械, 40, 5 (1974) 409.
- 63) K.Nakayama, M.Arai, T.Kondo, H.Suzuki: Cutting Tool with Curved Rake Face - A Means for Breaking Thin Chips -, Annals of the CIRP , 30, (1981) 5.
- 64) 谷戸勉, 竹山秀彦, 村田良司: 特殊曲面工具(H.F.T.)による切りくず制御, 精密機械, 49, 3 (1983) 371.

- 65) 三菱金属社：ダイヤチタニット切削工具カタログ，（1984）43.
- 66) 土肥嘉夫，鴻野雄一郎：仕上げ・微細加工用切削工具，日本機械学会誌，87， 787（1984） 607.
- 67) 塩川亨，赤津正克，上沢功夫：旋削加工における切りくず処理，マシニスト，24， 8（1980）33.
- 68) 宇宿徹：各種M級ブレーカによる最適切削加工，機械と工具，23， 6（1979）53.
- 69) 赤津正克：旋削加工における工具の損傷と切りくず対策，機械技術，29，12（1981）57.
- 70) A.H.Redford：The Effect on Cutting Tool Wear of Various Types of Chip Control Device, Annals of the CIRP, 29, 1（1980）67.
- 71) 島田俊夫，小島洋一：新M級チップ「27型」ブレーカの切削性能，東芝タンガロイ，21，28（1980）21.

第2章 広範囲の切込みと送りに対して切りくず折断可能なチップブレーカ形状

2.1 緒言

前章でも述べたごとく、チップブレーカの作用は流出してくる切りくずを変形させ、せん断領域で受けたひずみにさらに若干のひずみを付加し、切りくずの一部で破断ひずみに達するようにさせて切りくずを折断することである。現在非常に多くの種類のチップブレーカが実用に供されているが^{1)~3)}、付加するひずみはおもに曲げによるひずみである。広範囲の切込みと送りに対して切りくず折断可能なチップブレーカ形状を求めるについて、市販されているチップブレーカ形状の修正によって目的を達することは困難と考えられる。切りくずを折断するために付加するひずみは、大きなひずみであれば曲げ以外の他の機構であってもよい。たとえば、送りの小さい場合においても切りくずと被削材との接触の利用が考えられる。このような点を考慮しつつ次のような過程により、チップブレーカ形状を求めた。すなわち、簡単な形状のチップブレーカを基にして、切込みと送りが切りくず流出状態および切りくず形状に及ぼす影響を調べ、その結果を基に次々にブレーカ形状に改良を加えた。

2. 2 実験方法

使用工作機械は大隈鉄工所製L S形実用高速旋盤に無段変速機を付けたもので、その主要諸元を表 2-1に示す。被削材はSS41とし、切削部の観察のため乾式により外丸削りを行った。切削速度は3.0m/sとし、切込みを0.1mmから 3.0mmまで、また送りは0.05mm/revから0.51mm/revまで変化さ

表 2 - 1 使用旋盤の主要諸元

ベッド上の振り	mm	450
両センチ間の最大距離	mm	835
主軸速度範囲	rpm	8 ~ 2424
主軸の穴径	mm	52
自動送りの範囲	mm/rev	縦 0.025~0.7 横 0.025~0.35
主電動機	kW	5.5

せた。使用工具は市販の超硬合金P 10種製TNPA 321（3角形，コーナ半径0.4 mm）チップを E22R-22FU型ホルダに取付け、これに各種の形状のチップブレードを付与した。チップブレードはダイヤモンド砥石（# 400）による研削およびダイヤモンド砥石で加工できない部分を放電加工により成形した。そのため研削によって成形されたすみ部は半径0.20~0.25mm，また放電加工で成形されたすみ部は半径0.15~0.30mmの丸味がついている。

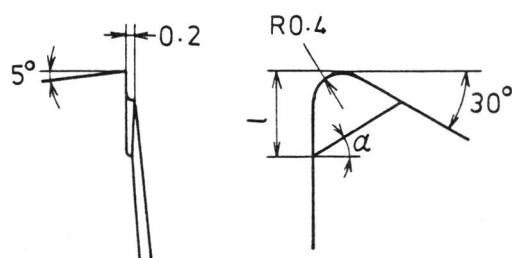
なお、それぞれのブレード形状における切削仕上げ面の状態は目視による観察のみ行った。

2.3 実験結果および考察

2.3.1 単一ブレーカ壁

の場合

広範囲に切りくず折断可能なチップブレーカを見出すについて、まず軽切削において切りくず折断可能なブレーカ形状を求めるために、図 2-1



Holder: E22R-22FU

図 2-1 チップブレーカ形状-I

に示すブレーカの特性を調べた。この形状はステップ形ネガティブリードに分類されるもので、切りくずが折れやすいように横すくい角、バックレキはともに 0° とした。 l は 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm, α は 0° , 15° , 30° , 60° について実験を

行った。図 2-2 に $l=1.0\text{mm}$, $\alpha=30^\circ$ の場合に得られた切りくずを示す。図からわかるように、切込みが 0.5mm, 0.3mm, 送りが 0.05, 0.10, 0.16 mm/rev で切りくずは折断されているが、切込み 0.2mm, 0.1mm では同じ送り条件で連続形の切

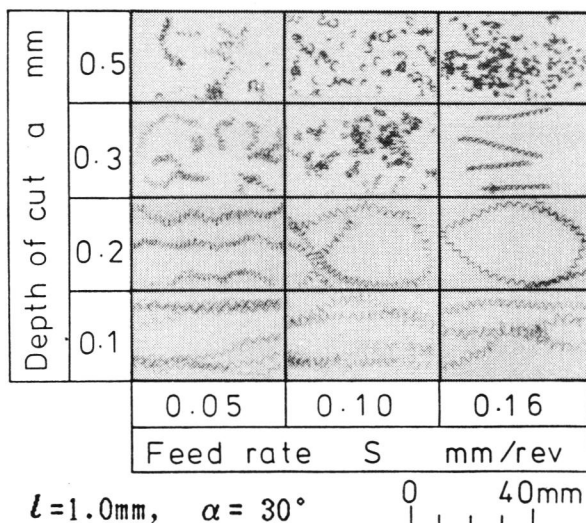


図 2-2 図 2-1 に示す工具によって得られた切りくず

りくずとなった。角度 α は大きいほうが切りくずが折れやすい傾向にあり、 $l=1.0\text{mm}$ ， $\alpha=60^\circ$ とすると切込み 0.2mm でも送り 0.05 ， 0.10 ， 0.16mm/rev で切りくずは折断された。しかし、切込み 0.5mm ，送り 0.16mm/rev では切りくずが被削材とブレーカ壁の間につまった。従って、 $\alpha=60^\circ$ のブレーカ形状は重切削用に拡張するには不適であると考えられる。 $l=0.5\text{mm}$ では切りくずがつまりやすく、やはり不適である。また、 $l=1.5\text{mm}$ では $l=1.0\text{mm}$ の場合に比べ切りくずがやや折れにくい。

図 2-1のブレーカ形状で $l=1.0\text{mm}$ ， $\alpha=30^\circ$ とした場合、ある程度切りくず折断の有効性を示しており、この形状を基礎にして発展させうると考えられる。このブレーカでは切込みが小さい場合切りくずは折断されないで、図 2-3に示すように、コーナ半径を実質零とし、副切込み角の小さい副切れ刃を設けた。こうすれば切取り厚さが大きくなり、切りくずが折れやすくなると考えられる。切れ刃先端部Nはハンドラップ（# 300）でホーニングを施した場合と施さない場合について実験を行った。切込みと送りの範囲は図 2-2の場合と同じである。ホーニングを施さない場合、N部の頂点は欠けを生じており、欠けの大きさは一定でない。その

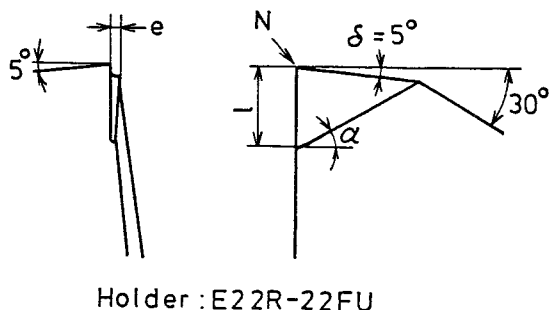
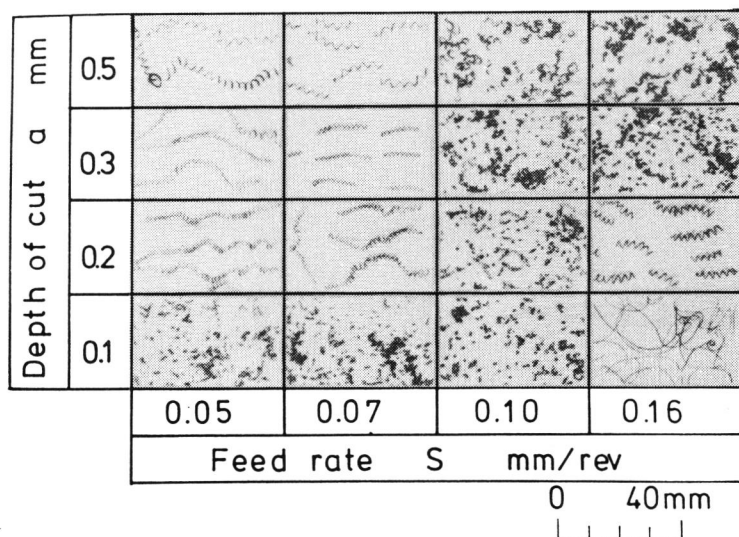


図 2-3 チップブレーカ形状-II

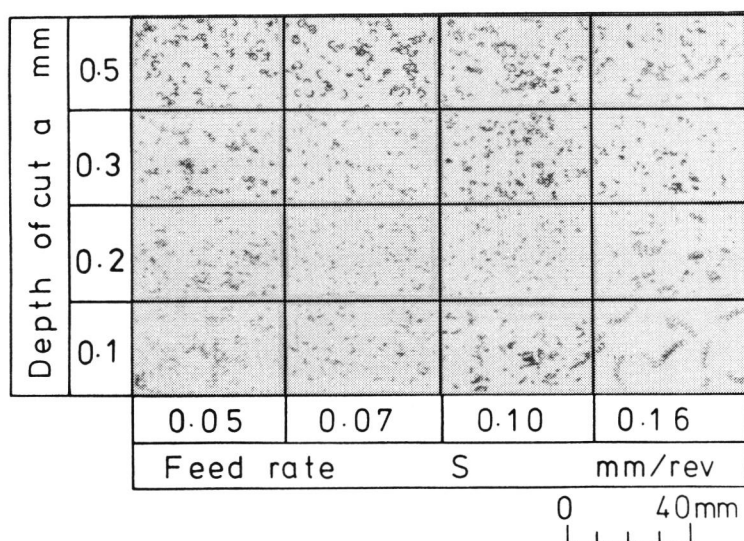
ため、切りくずは折断される場合と連続する場合がある。折断される場合にはラセン長20mm程度以下，短かいものではC字状の切りくずを生じた。C 0.02mm程度のホーニングを施した場合には，後出の図 2-5に示すように切りくずは折断された。さらにC 0.05mmのホーニングを施すと図 2-4に示すように，切りくずは折断されたが切込み0.2，0.3，0.5mm，送り0.05mm/revでラセン長60mm程度，また切込み0.1mm，送り0.16mm/revでは不規則な形状の100mm程度の長さになった。従って，広範囲に切りくず折断可能な工具形状としては，N部にC 0.02mm程度のホーニングを施すのがよいと考えられる。ホーニングを施せばチッピングが生じにくくなることも考



$l=1.0\text{mm}$, $\alpha=30^\circ$, $e=0.20\text{mm}$, Honed corner

図 2-4 図 2-3に示す工具によって得られた切りくず
(コーナのホーニングをC 0.05とした場合)

えられる。N部にC0.02mmのホーニングを施したこの工具についても前述の場合と同様、 l を0.5, 1.0, 1.5 mmに変えて実験を行った。図2-5に $l=1.0\text{mm}$, $\alpha=30^\circ$ の場合を示す。なお、横すくい角、バックレーキはともに 0° である。図2-5に示す切込み、送りの範囲では、すべて切りくずは折断されており、しかも仕上げ面も良好である。図示していないが、 $l=0.5\text{mm}$, $\alpha=30^\circ$ ではやはり被削材とブレーカ壁の間に切りくずがつまりやすく、 $l=1.5\text{mm}$, $\alpha=30^\circ$ では図2-6に示すように送りが 0.05mm/rev 、あるいは切込みが 0.10mm のように小さいと切りくずはやや折れにくい。そこで $l=1.0\text{mm}$ とし、 α を 0° , 15° , 30° , 60° と変化させ図2



$l=1.0\text{mm}$, $\alpha=30^\circ$, $e=0.20\text{mm}$, Honed corner

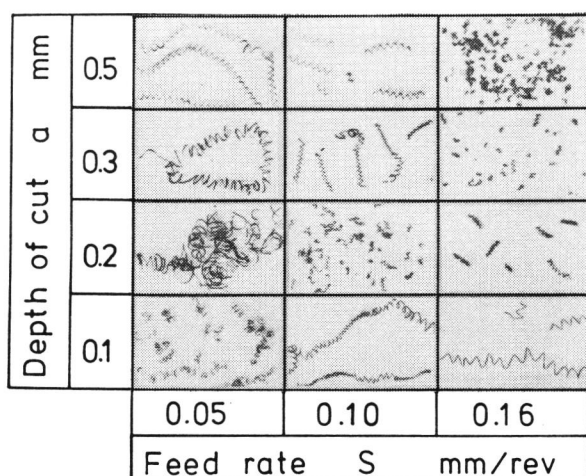
図2-5 図2-3に示す工具によって得られた切りくず
(コーナのホーニングをC0.02とした場合)

-5に示す切込みと送りの範囲で α の影響を調べた。結果は図 2-1に示すブレーカ形状の場合と同様の傾向になった。すなわち、図 2-7に示す $\alpha = 15^\circ$ の場合と図 2-5とを比較してわかるように、 α が大きくなるにつれて切りくずが折れやすくなる。しかし、 $\alpha = 60^\circ$ では切りくずは折断されるが、切りくずがつまりやすい。

従って、この場合も角度 α は 30° 程度が適当と考えられる。なお、単に副切込み角の小さい副切れ刃を設けただけで、ブレーカ壁を付与しなければ、切込みが小さいとコイル状、切込みが大きいと不規則な形の連続形切りくずなる。

なお、切込み、送りの小さい領域ではコーナ半径を0とすることにより切りくずが折れやすくなることは、既に報告されている⁴⁾。

ブレーカ壁の高さ e においてもやはり適当な範囲が存在する。 $e = 0.24$ mmの場合、図 2-8に○印で示す切込み、送りでは、切りくずが折断され良好であるが、△印で示す切込み、送りでは、切りくずは折断されるが被削



$l = 1.5\text{mm}$, $\alpha = 30^\circ$, $e = 0.20\text{mm}$, Honed corner

0 40mm

図 2-6 図 2-3に示す工具によって得られた切りくず

材とブレーカ壁の間につまる。切りくずがつまる場合には仕上げ面は非常に悪い。図 2-8 中 X 印で示す切込み、送りでは切りくずは折断されない。この場合、切りくずはつまりながらほぼまっすぐに流出し、断面積の大きい連続形の切りくずとなる。なお、このブレーカ形状で切りくずが連続する切込み、送りであっても、切削速度を 0.75 m/s と低速にすると切りくずは折断された。e がこれより大きい $e = 0.30\text{mm}$ では、切りくずが折断され、かつつまることのない切込み、送りの範囲が狭くなる。逆に e が小さすぎる場合には、ラセン形の切りくずが段を乗り越

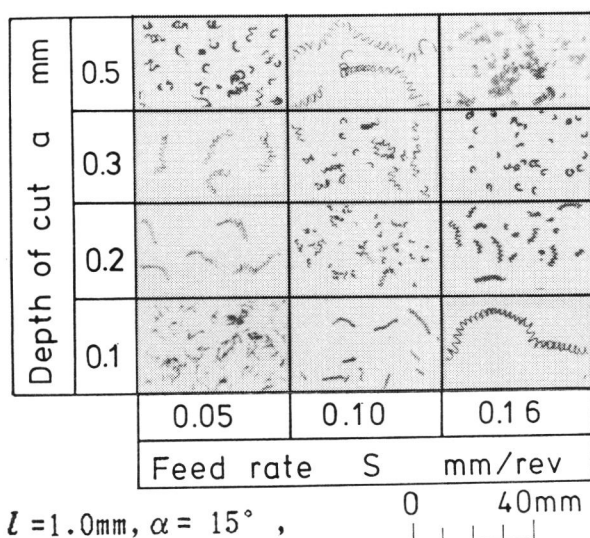


図 2-7 図 2-3 に示す工具によって得られた切りくず

Depth of cut a mm	0.5	○	△	X	X
	0.3	○	○	△	△
	0.2	○	○	○	△
	0.1	○	○	○	○
		0.05	0.07	0.10	0.16
		Feed rate S mm/rev			

○ Broken, △ Broken but choking,
X Continuous

$l = 1.0\text{mm}, \alpha = 30^\circ$,
 $e = 0.24\text{mm}$, Honed corner

図 2-8 S-a 平面上の切りくず折断領域

え折断されないが、 $e = 0.07\text{mm}$ では図 2-5に示す切込み，送り条件のうち，切込み 0.10mm ，送り 0.16mm/rev では切りくずはラセン長 $50\sim 60\text{mm}$ となって折断され，他の切込み，送り条件ではこれより短く折断された。

$e = 0.10\sim 0.22\text{mm}$ で，図 2-5に示す切りくずと同様の切りくずが得られた。

以上の検討の結果， α と l の値は公差を大きくとれるが， e は $0.1\sim 0.2\text{mm}$ の間にする必要がある。

2. 3. 2 複ブレーカ壁の場合

2.3.1 で求めたブレーカ形状（図 2-3で $l = 1.0\text{mm}$ ， $\alpha = 30^\circ$ ， $e = 0.1\sim 0.2\text{mm}$ の場合）は，切込み 0.5mm 以下の軽切削の場合に有効であるが，切込みが 0.5mm を越える場合，切りくず折断性能，仕上げ面ともに悪い。

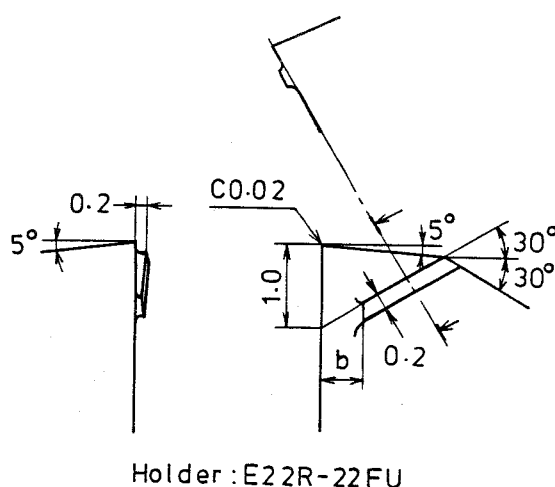


図 2-9 チップブレーカ形状-Ⅲ

とくに、切込みが大きくなって、切削にあずかる切れ刃部分に図 2-3に示すような段（コーナへ向かって下った段）が存在するのはよくないことがわかった．そこで図 2-3に示すブレーカ壁を主切れ刃に近い部分で取除いた場合のブレーカ特性を調べた．図 2-9に示すようにブレーカ壁部を突起状とし、図に示す b を変化させて切りくずの形状変化を観察した．図2-10に $b = 1.0\text{mm}$ の場合の結果を示す．このようなブレーカ形状とすれば、軽切削時の切りくず折断性能は悪くなると考えられるが、図 2-5に示した切りくず形状と比較すると、全般に切りくず長さが若干長くなっている程度である．顕著に悪く

なっているのは切込み

0.10mm送り0.16mm/rev

のみである．図 2-5に

データの無い切込み

1.0mm では送り0.05，

0.10mm/revで連続形で

あるが、送り0.16mm

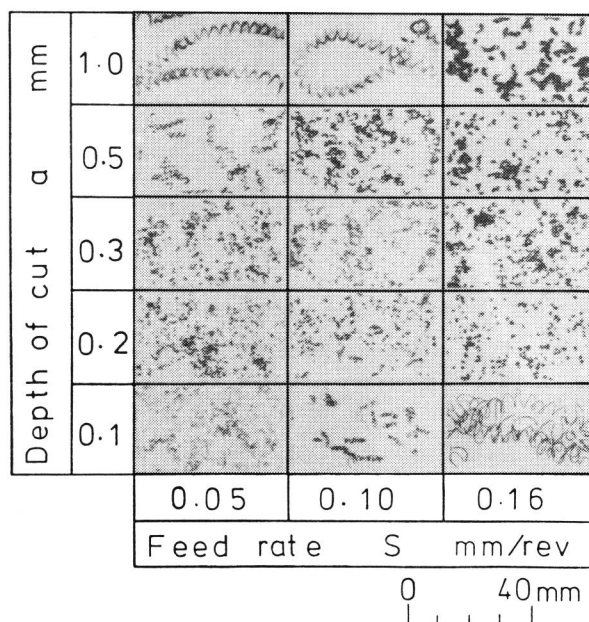
/revで切りくずは折断

されている．また図示

していないが切込み

1.0， 2.0mmにおいて

も、送り0.32mm/revで



$b=1.0\text{mm}$

図 2-10 図 2-9に示す工具によって得られた切りくず

は切りくずは折断される。また、以上の実験範囲内では仕上げ面は良好である。 $b = 0.5\text{mm}$ では切込みが大きい場合、送りが大きくなると切りくずの流出が妨げられ、断面積の大きな連続した切りくずを生じる。従って、 $b = 1.0\text{mm}$ 程度とすれば、切込みの小さいところでは図 2-3に示すブレーカ形状に近い切りくず折断性能をもつとともに、切込みの大きい場合に対しても折断可能なブレーカ形状を付加しうると考えられる。

以上の結果より、切込み、送りとも比較的大きな場合に有効な市販の中・荒旋削用チップブレーカ形状と、2.3.1 で求めたチップブレーカ形状とを組合せたチップブレーカとして、

図2-11に示す形状のチップブレーカの切りくず折断性能を調べた。この形状は図 2-3において $\alpha = 30^\circ$, $l = 1.08\text{mm}$ とし、コーナ先端へ向かって 5° 下がっている主切れ刃に沿って幅 1.0mm のブレーカ溝を放電加工によ

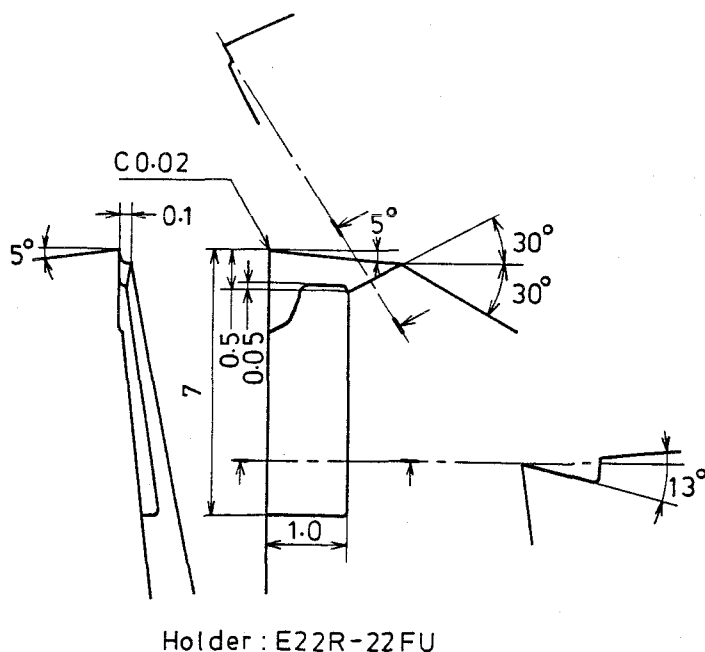


図 2 - 1 1 チップブレーカ形状 - IV

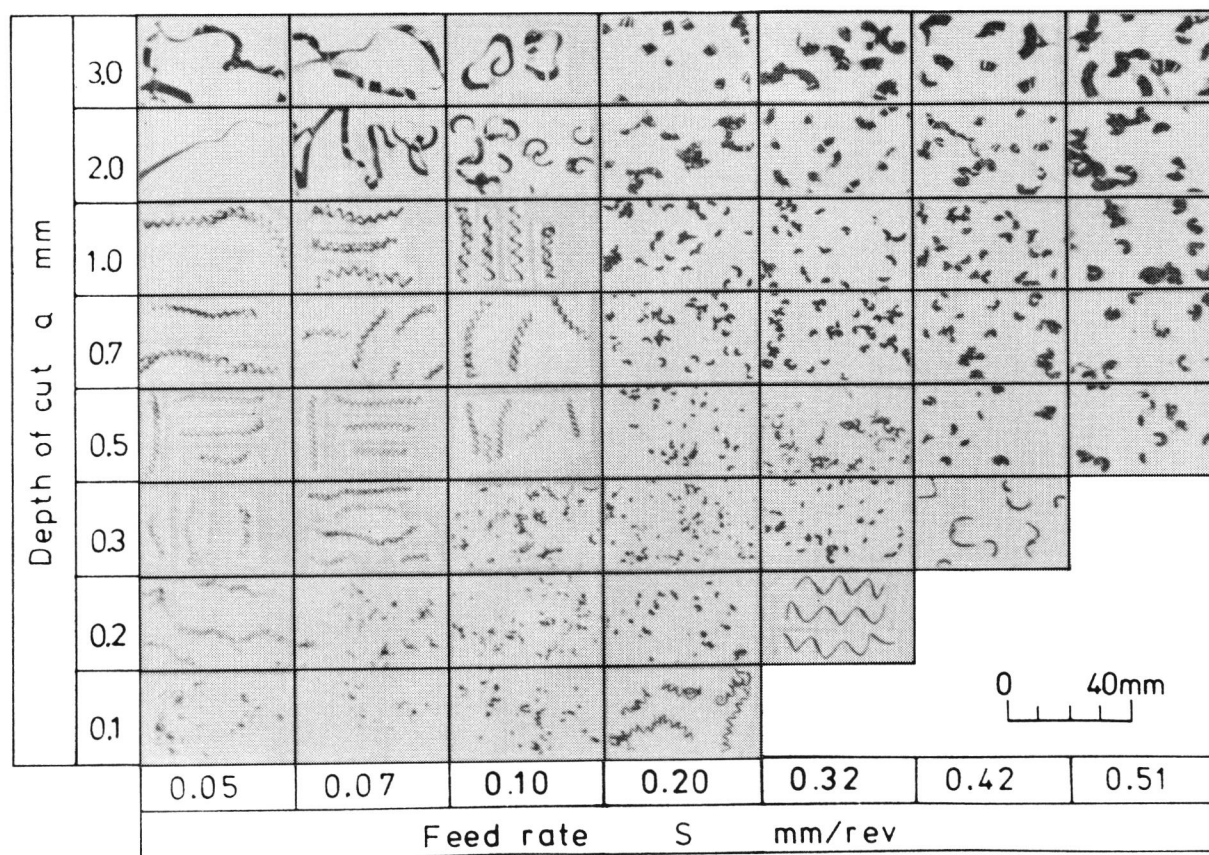


図 2 - 1 2 図2-11に示す工具によって得られた切りくず

り成形したものである。図2-12に種々の切込み、送りにおいて得られた切りくずを示す。図より本チップブレーカではかなり広範囲の切込みと送りに対して切りくずが折断されていることがわかる。しかし、送りが小さく、切込みの大きな狭い領域で切りくずは不規則な連続形となっている。

この結果をもとに送りが小さく、切込みの大きい場合にも切りくずを折断させるブレーカ形状を考える。送りが小さく、切込みの大きい場合にも切りくずを折断させるブレーカ形状としては、図2-11に示すように、おもに上向きにカールさせ折断させるタイプのものは無理である。そこで切りくずの流出角を大きく

するとともに斜めに曲

げて、切りくずを手前

側（切込み方向と逆方

向）に湾曲させて主逃

げ面方向へ導き、切り

くず折断の性能向上を

計るため、図2-13に示

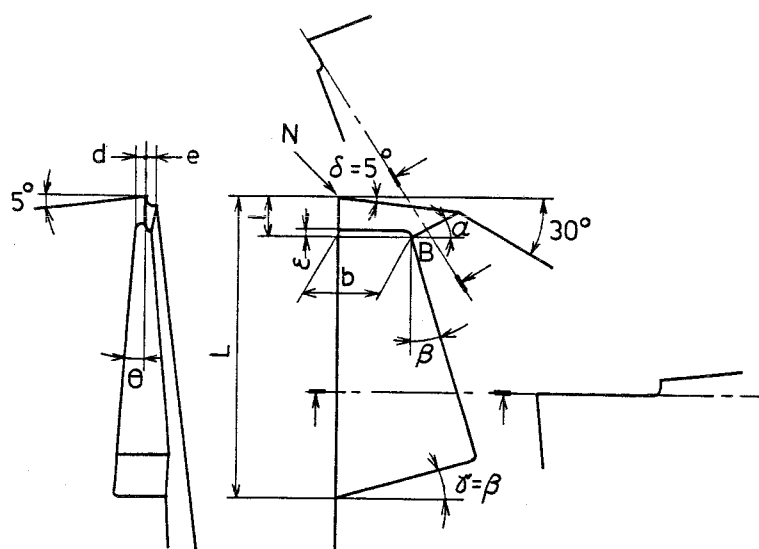
すブレーカ形状を考案

した。切れ刃先端部N

は前述の場合と同様に

C0.02mmのホーニング

をハンドラップ



Holder : E22R-22FU

図2-13 チップブレーカ形状-V
(最終形状)

(# 300)により施した。また前述の実験結果から、 $\alpha \approx 30^\circ$ ， $b \approx 1.0$ mm， $l \approx 0.5$ mm， $e = 0.1 \sim 0.2$ mmと求まる。主切れ刃の先端からの距離が l から L までの部分のブレーカ溝について、主切れ刃の部分に手前側が高い段を設けるのは前述のとおり良くない。図2-13に示す d を零とすることは本実験における放電加工による加工では困難であり、 $d = 0.1 \sim 0.2$ mmとした。このように手前側がわずかに下った段をつけることによって、切りくずを手前側に湾曲させる効果が期待できる。 θ は狭い範囲でしか変えることができないが、 0° よりはむしろ正の角度を付けたほうが、切りくずが湾曲して手前に流出しやすい。ところが、 θ が大きすぎるとチップ自体の強度が低下し、チップが破損しやすくなる。そこで $\theta = 2^\circ \sim 3^\circ$ とした。 β が大きすぎると、切込みが大きく、送りが大きい場合に切りくずが折れにくくなるばかりか（特に β が 90° に近い角度ではブレーカ壁として無意味である）、チップ自体の強度が低下する。切りくずを手前に湾曲させる目的で β は 15° とした。 γ は β と等しくした。 γ を 0° もしくは負にすれば、切りくずの流出方向によってはつまりやすい。 L はある程度大きいほうがよい。実験に使用した超硬チップの大きさから8 mm以上ではチップの強度上問題があるので7 mmとした。また、 ε は2つのブレーカ壁の交わる部分Bを角度 $(90^\circ + \alpha - \beta)$ で、小さな丸味をもつ形とするため、放電加工中の電極の消耗を考慮して定めたもので $0.05 \sim 0.10$ mmとした。

以上のように求まった形状、寸法について、 d の値は適当な値を調べる必要があると考えられるが、本実験に使用しているチップでは大きな値に

することはできないので $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ に固定する。前節の検討結果から、 e は $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ が適当な値と考えられるが、 l と b とは再度検討する必要があると考えられる。

図2-14は $b = 0.9 \sim 1.0\text{mm}$ 、 $l = 0.55 \sim 0.65\text{mm}$ の場合に、切込み 0.1 mm から 3.0mm まで、送り 0.05mm/rev から 0.51mm/rev までの範囲で切削を行って得られた切りくずを示す。実験を行った切込みと送りの範囲内（切込み $0.1 \sim 3.0\text{mm}$ 送り $0.05 \sim 0.51\text{mm/rev}$ ）では、すべて切りくずは折断されており、目視観察では仕上げ面は光沢のある美しい面となっている。図に示すとおり、本チップブレードにおいては、切込みと送りの組み合わせによって切りくずの形状が異なっており、すべてが同じパターンで折断されているのではない。全般的な傾向としては、切込み (mm) が送り (mm/rev) より大きい領域で、切込み 0.5mm 付近で長さ $20 \sim 30\text{mm}$ のラセン形になっており、切込みが 0.3mm 程度以下では、切りくずはラセン形にまで成長しているものは少なく、短かく折断されている。切込みが 1.0mm 程度でも短かく折断された切りくずを生じているが、切込みが 2.0 、 3.0mm においては幅の広い、ちぢれた形の切りくずとなっている。切込みが大きい場合、切りくずは手前に湾曲し、被削材と接触している。

本チップブレードにおいて、 b は小さな切込みから大きな切込みまで切りくず形態に影響するので、 $l = 0.55 \sim 0.65\text{mm}$ として改めて b を 0mm から 1.5mm までの範囲で変化させ、切りくずの形態を調べた。 $b = 0\text{mm}$ は、切れ刃先端から主切れ刃に沿って $0.55 \sim 0.65\text{mm}$ までの形が図 2-3 と同じで

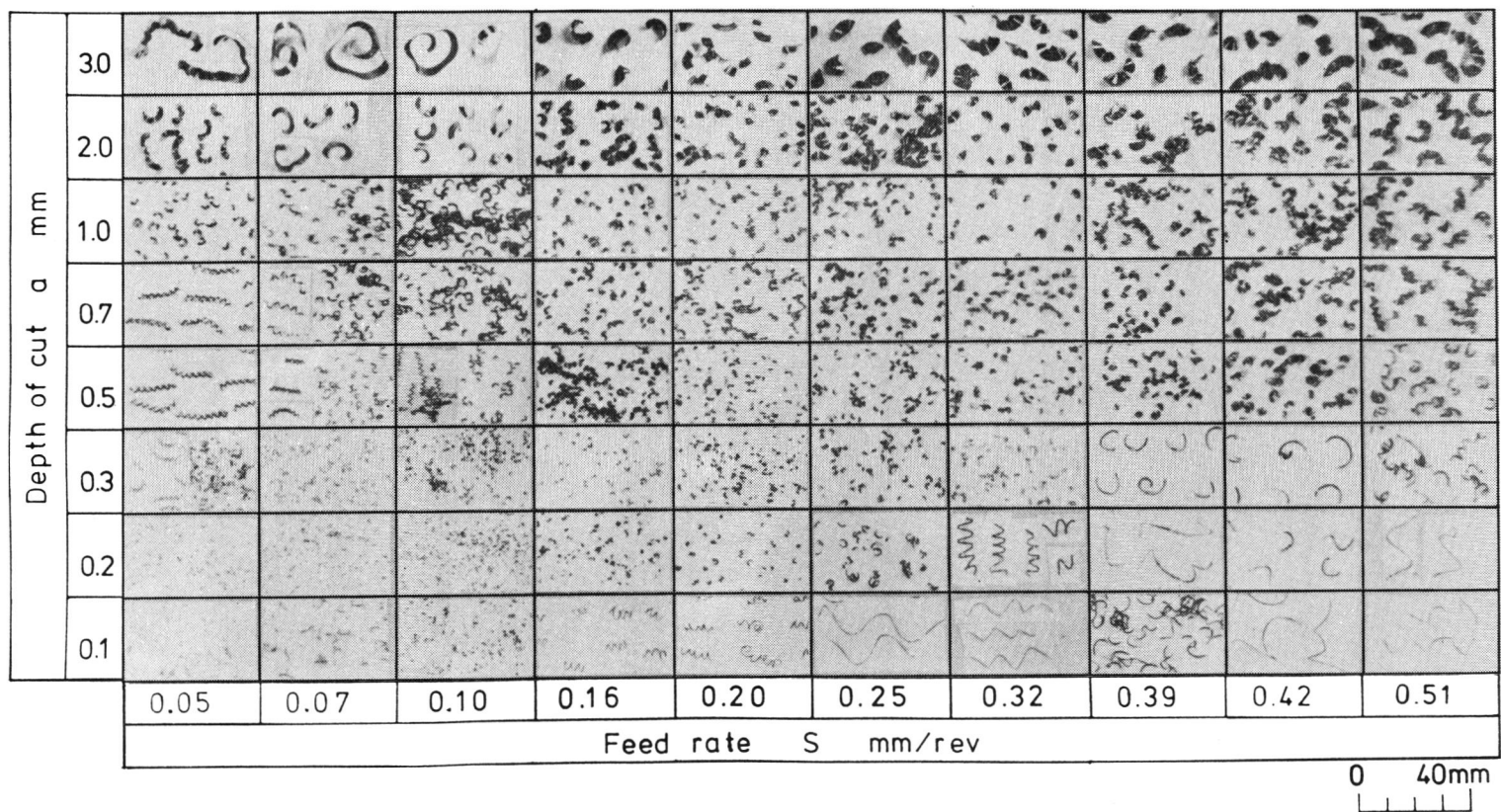


図 2 - 1 4 図2-13に示す工具によって得られた切りくず

あり，軽切削においてすでに切りくずがブレーカ部につまりやすく不適であるが，さらに切込み 1.0，2.0mmにおいて切りくずが折断されない。

$b = 0.5\text{mm}$ の場合，切れ刃からブレーカ壁までの間隔が図2-14の場合にくらべ狭いため送りの小さいところでは切りくずは折断され，また仕上げ面も良好であるが，送り 0.32mm/rev では仕上げ面が悪くなった。 $b = 1.5\text{mm}$ では送りが大きい場合，切りくず折断性能，仕上げ面ともに良好であるが，送りが小さい場合切りくず折断性能が悪い。従って，やはり b は 0.9～1.0mm が適当である。 l については図2-14に示す結果と比較するために， $b = 0.9 \sim 1.0\text{mm}$ として 0.4mmおよび 0.8mmについて調べた。送り $0.05 \sim 0.16\text{mm/rev}$ の範囲で得られた切りくず形状を図2-15，図2-16に示す。図からわかるように $l = 0.4\text{mm}$ では切込み 2.0mmおよび 3.0mm，送り 0.05mm/rev で連続形の切りくずとなった。また図2-14に結果を示した $l = 0.55 \sim 0.65\text{mm}$ の場合と比べ，切りくずの排出がやや悪い。 $l = 0.8\text{mm}$ では切込み 2.0，3.0mmで送り 0.05mm/rev ，切込み 3.0mmで送り 0.07mm/rev ，および切込み1.0mm，送り 0.05mm/rev では切りくずが手前側に湾曲し主逃げ面側に流出しているが，不規則な形の連続形の切りくずを生じた。また全般に図2-14に示した結果を比べると切りくずがやや長くなっている。また L について， $L = 5.0\text{mm}$ の場合の性能を調べた結果，図2-14に示す切込みと送りの範囲では，この図に示す切りくず形状とほとんど差は認められなかった。

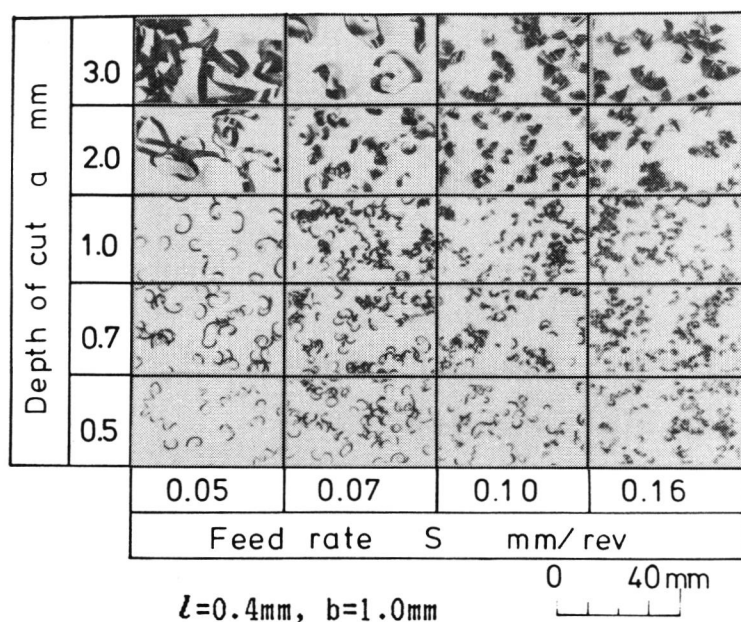


図 2 - 1 5 図2-13に示す工具によって得られた切りくず

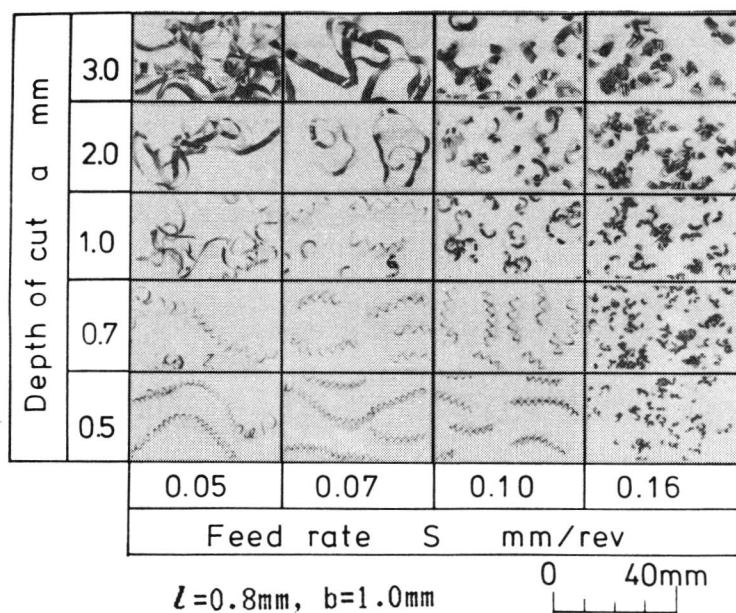


図 2 - 1 6 図2-13に示す工具によって得られた切りくず

2. 4 結 言

SS41を被削材とし，簡単な形状のチップブレード（ステップ形ネガティブリードに分類される形状）を出発形状として，切込み0.1 ～ 3.0mm，送り0.05～0.51mm/revの広範囲にわたって，切りくずを折断することのできるチップブレード形状に到達した。

参考文献

- 1) 浅野克彦，島田俊夫：工具の選定と切りくず対策，機械技術，28，4（1980）37.
- 2) 塩川亨，赤津正克，上沢巧夫：旋削加工における切りくず処理，マシニスト，24，8（1980）33.
- 3) 赤津正克：旋削加工における工具の損傷と切りくず対策，機械技術，29，12（1981）57.
- 4) 中山一雄：コーナに丸みをつけないバイト（ゼロRバイト），精密機械，40，5（1974）409.

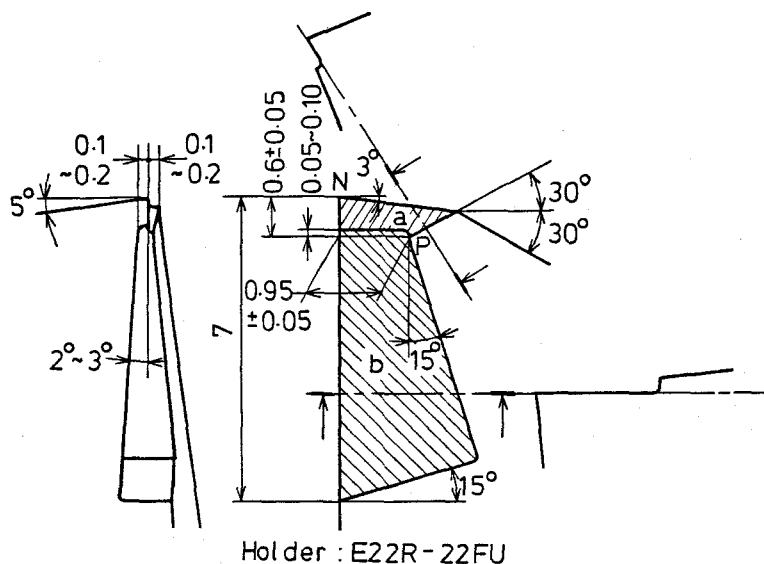
第3章 切りくず折断様式

3.1 緒 言

SS41を被削材として前章において求めたブレード形状は，乾式において切込み0.1 mmから 3.0mm，送り0.05mm/revから0.51mm/revの範囲で有効である．本章においてはSS41の乾式切削で切りくずがどのように折断されるのかそのプロセスを明らかにする．一般的なチップブレードによる切りくずの折れ方については中山らの報告^{1)～5)}，その他^{6)～11)}があり，カールした切りくずの先端が工具逃げ面に当って，湾曲の外側へ曲げられて折断される場合の詳細は明かである．しかし他の場合の折れ方については必ずしも明確ではない．また細かな点について言えば，本チップブレードに特有な折れ方が考えられ，これを明らかにすることは，さらに広範囲の切削条件で切りくず折断可能なチップブレードの開発のためにも役立つと考えられる．

3.2 実験方法

実験には，前章と同様，無段変速機を付加した大隈鉄工所製LS形実用高速旋盤（5.5kW，8 ～2424 rpm）を使用した．被削材としてはSS41を用い，切削部を観察するために乾式で外丸削りを行った．図3-1は，前章で求めたチップブレード形状，すなわち広範囲に切りくず折断可能なチップブレードの形状を示す．図のa部は，ダイヤモンド砥石（＃400）により研削し，b部は放電加工により成形した．そのため，研削により成形され



N : Honed corner (C0.01 ~ C0.02)

図 3-1 チップブレーカ形状

たすみ部は半径0.20~0.25mm, また放電加工で成形されたすみ部は半径0.15~0.30mmの丸味がついている. 切れ刃先端部にはC 0.01~C 0.02mmのホーニングを, 井 300のハンドラップにより施した. このチップを用いて, 切込みと送りによって切りくず折断様式がどのように変化するかを調べた. 切削速度は, 3.0m/sとし, 切込みを 0.1 mm から 3.0mmまで, また送りは, 0.05mm/revから0.51mm/revまで変化させた. 切削状態を直接観察するとともに, 高速度カメラによる高速写真により検討を加えた.

3. 3 実験結果および考察

3. 3. 1 切りくず折断タイプ

図 3-1に示す形状のバイトにより, 切込み0.1 ~ 3.0mm, 送り0.05~

0.51mm/revの組合わせでSS41の外丸削りを行うと、この範囲での切りくず発生状態は全般的には次のようになる。切込みと送りが共に小さい場合には切りくずは上からみて時計回りに横向きカールし、切込みが大きくて送りが小さいと上向きカールの切りくずが生じる。切込みと送りが共に大きくなると斜めカールとなり、切込みがあまり小さくなく送りが切込みよりやや大きい場合には流出方向45°付近の上向きカールとなり、さらに切込みに比べて送りが大きくなると上からみて反時計回りの横向きカールとなる。ただし、この場合、後述するように横向きカールのラセンに成長できないため変形ラセンの切りくずとなる。

このような切りくずの発生状態と切りくずの折れ方とは密接に関係している。切削状態を毎秒2000コマの撮影速さで撮影し、モーションアナライザにより詳細に観察、検討した結果、本チップブレーカによるSS41材の切削時の切りくずの折れ方は、切込みと送りによって図 3-2～図 3-7に示す6タイプに分類することができ、切込み－送り平面上にその発生領域を示すと図 3-8のようになる。図中・印は実験点を示し、境界は同じ横座標値もしくは縦座標値をもつ異なったタイプの実験点の間もしくは2つのタイプが混る実験点を通る、両座標軸に平行な直線としている。図 3-8で添字による区別は同一タイプに属するがやや形の異なることを示す。また一点鎖線は $a = S$ (a : 切込みmm, S : 送りmm/rev) を示す。

タイプ1 (図 3-2) : 切込みが0.1 ～0.7 mm程度、送り0.05～0.10mm/rev程度の範囲の実験点で起こった。切りくずは、横向きカールで径、ピ

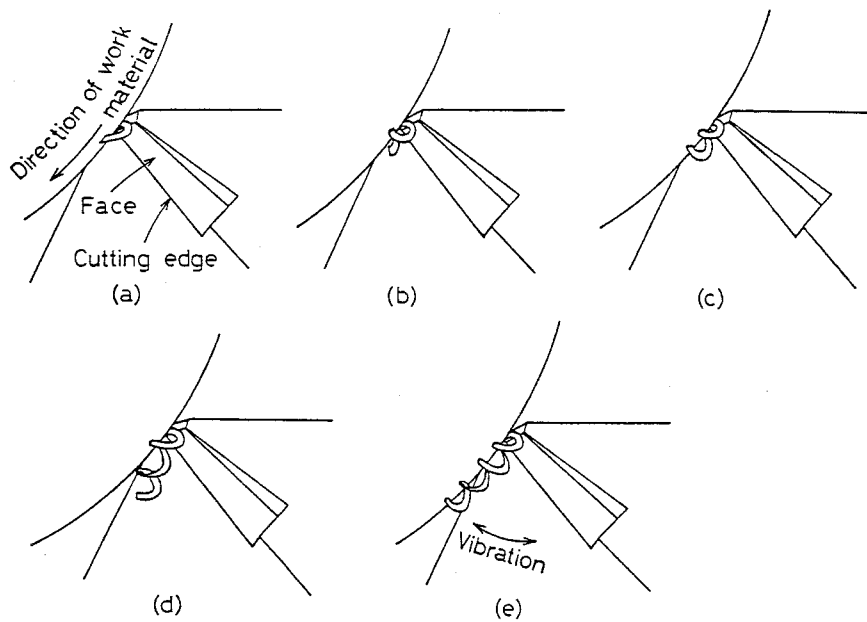


図 3-2 切りくず折断タイプ 1

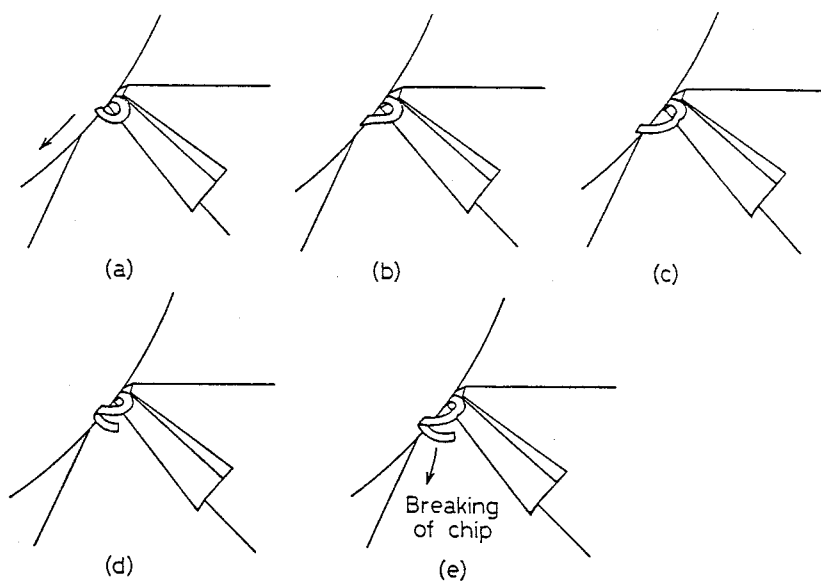


図 3-3 切りくず折断タイプ 2

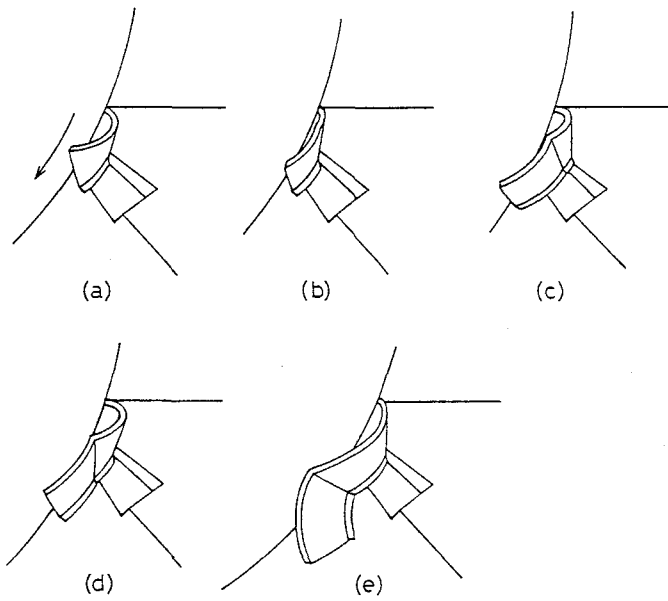


図 3-4 切りくず折断タイプ 3

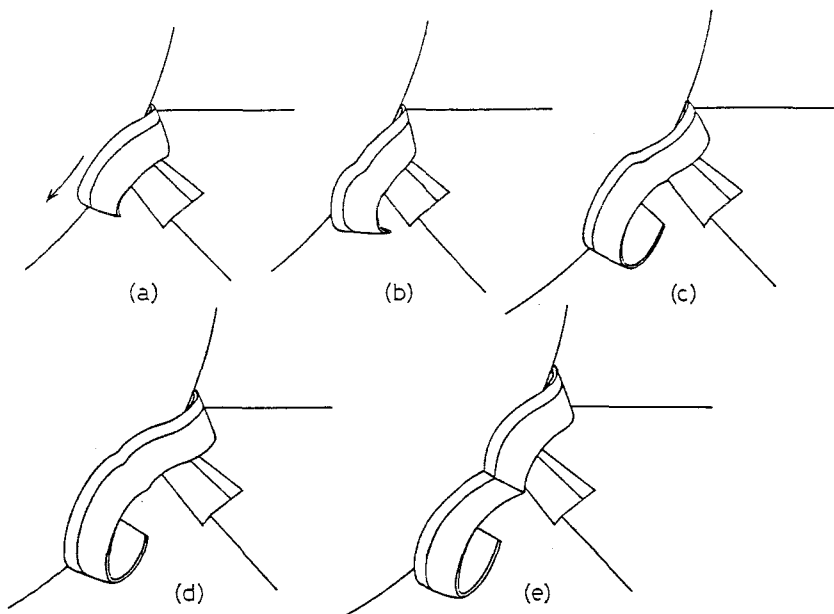


図 3-5 切りくず折断タイプ 4

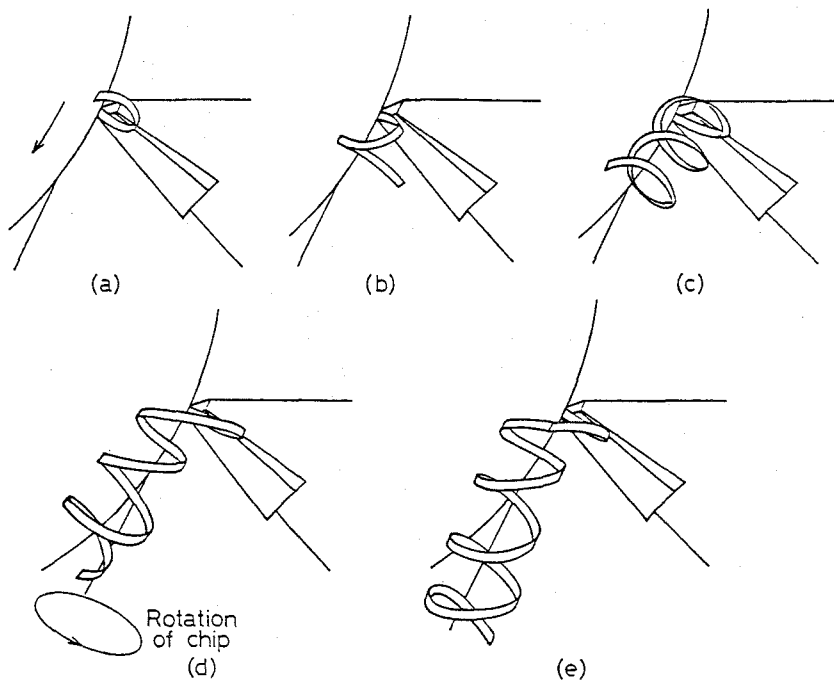


図 3 - 6 切りくず折断タイプ 5

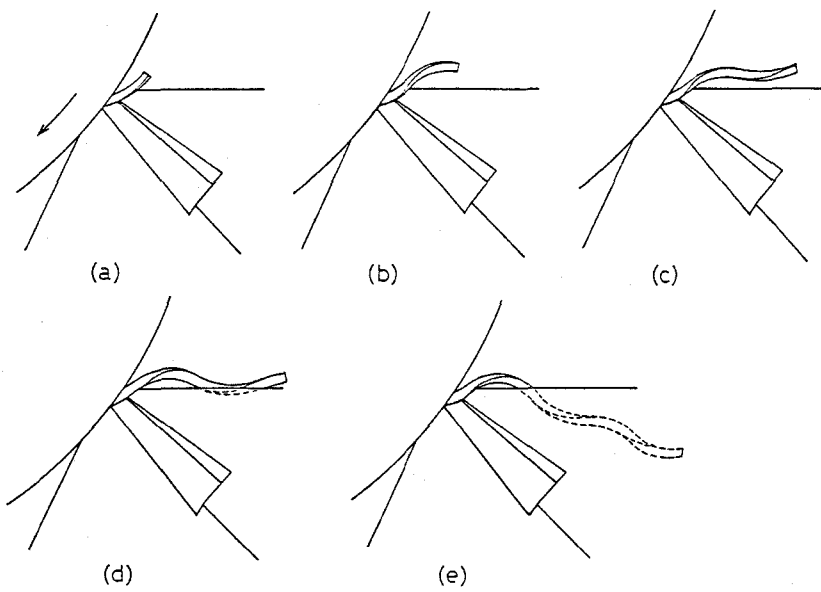
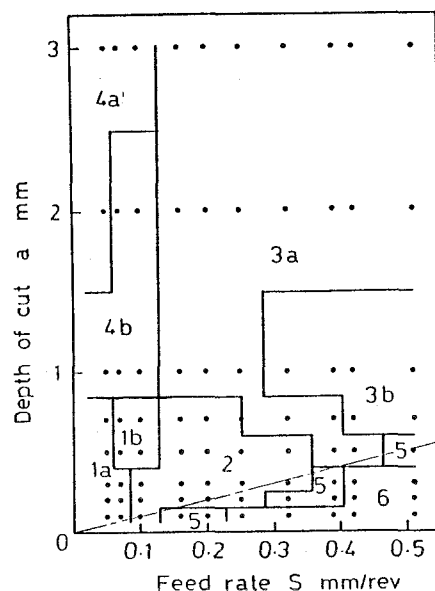


図 3 - 7 切りくず折断タイプ 6

ツチともに小さなコイル状（切りくず断面積が大きくなると大きくなり、最大でコイル直径2mm程度）となり主逃げ面側に成長する。その際、図からもわかるように横向きにカールした切りくずが伸びるに従って、先端は

まず被削材に当る【図3-2(a)】。被削材との摩擦により少し押し下げられ、

続いて工具主逃げ面に当ってラセン状に成長して【図3-2(b)】再度被削材に当る【図3-2(c)】。この状態で、せん断領域からラセンの一巻目で被削材に接触している部分までの間で折れ、ラセン長1～2巻程度の長さの切りくずになる場合（図3-8に1bで示すタイプはこの折れ方が多数混じる）と、そのままラセンが成長し【図3-2(d)】、被削材との摩擦が原因で、被削材との接触部を支点としてラセンが横振動し【図3-2(e)】、支点の部分で折れてラセン長5～6巻程度の切りくずになる場合（1aで示すタイプの折れ方）とがある。折れ残った切りくずは、切りくずの流出につれて工具主逃げ面に当り、ラセンが成長し、上述のプロセスを繰り返して切りくず



Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s

図3-8 S-a平面上での切りくず
折断タイプの領域

が折断される。

なお、送り 0.05mm/rev で、切込みが 0.7mm のようにやや大きい場合には、切りくずは斜めにカールしてラセンが成長する。この場合も、切りくずラセンの成長状態、折断の様子は、上述のプロセスとほぼ同様であるので同タイプに分類した。

タイプ2（図 3-3）：切込みは 0.7mm まで、送りは最大で 0.32mm/rev （切込み 0.3 および 0.5mm において）までの範囲の実験点の多くで起こった。タイプ1の場合にくらべ、切りくずが厚目であり、上向きカール成分をわずかに含んだ横向きカールで、半径が小さく流出する。せん断領域から一巻分の切りくずの形態はタイプ1と同じであって、切りくずは横向きカールして被削材に当る〔図3-3(a)〕。切りくずは流出し続けるので接触部は被削材に押し付けられることになる。すると被削材と接触する切りくず部分は摩擦力によって押し下げられる〔図3-3(b)〕。タイプ1の場合に比べて切りくず断面積が大きいので、押し付け力が大きく、また切りくずの弾性変形能は小さい。そのため、被削材との接触部が押し下げられた際、切れ刃と接触する部分で塑性的に折れ曲りが生じる〔図3-3(c)〕。そして切りくずの流出に伴う押し付け力の増大により、この折れ曲りが大きくなって、切りくずが下部へ曲り込み、折れ曲り部が被削材と接触することになる〔図3-3(d)〕。（折れ曲りが生じてからこの折れ曲りが被削材に接触するまでの時間は非常に短い。）下部へ曲り込んだ部分は横向きカールの半巻分程度の大きさがあり、その先端が工具主逃げ面に接触する。この状

態から上述のプロセスが繰り返される。すなわち、切りくずの流出が続いているのでせん断領域から被削材に接触している部分までの切りくずカール半径が増大し、切りくずを被削材に押し付ける力が大きくなる。押し付け力の増大とともに被削材と接触している部分は押し下げられ、切りくずは切れ刃と接触している部分で折れ曲りが生じる〔図3-3(e)〕。この押し下げ運動により下部へ曲り込んだ切りくず部は工具逃げ面方向へ移動する。先端部は既に工具主逃げ面に当たっているため、被削材と接触している折れ曲り部で切りくずが破断し、その際に吸収されていた弾性ひずみエネルギーによって飛び散ることになる。以後この過程を繰り返して切りくずが折断される。

タイプ3（図 3-4）：概略切込み 0.5～ 3.0mm，送り0.16～0.51mm/revの範囲の実験点の多くで起こった。タイプ2に比べ、さらに切りくず断面積が大きく、図 3-4に示すごとく半径の小さな斜めカールの切りくずが流出する。切りくずの先端が被削材に当り〔図3-4(a)〕、この当たった部分とせん断領域との中間部分で湾曲の外側へ少し折れ曲り、クラックが入る〔図3-4(b)〕。切りくずの流出につれて被削材と接触している部分が、被削材と接触しながら逃げ面側へ流出し〔図3-4(c), (d)〕、逃げ面に当たって〔図3-4(e)〕、クラックの入った部分で折断される。残った部分の先端は、切りくずの流出につれ被削材に当り、上述のプロセスが繰り返されて、切りくずが折断される。

なお、タイプ3 bは図 3-4に示すよりも横向きカールの傾向が強く、切

りくずの流出がつまり気味である。

タイプ4（図 3-5）：切込みが 1.0～ 3.0mm，送りが0.05～0.10mm/revの範囲の実験点で起った。タイプ3の切りくずが薄く柔軟になり，横向きカールの成分が小さく，すくい面上方の空間を大きく上向きにカールした切りくずが，被削材と主逃げ面で区切られる空間へ流出する【図3-5(a)】。図 3-5に示すように切りくずは被削材に接触するとともに，先端は逃げ面に当る【図3-5(b)】。切りくずの流出に伴って切りくずの曲率半径が大きくなり，切りくずの先端部が被削材に生じたばりのために下へ引き下げられ【図3-5(c)】，すくい面の高さ付近で湾曲の外向きに折れ曲る【図3-5(d),(e)】。これだけで折断されることも多い（4bで示す折れ方）が，送りが0.05mm/revのように小さい場合には折れ曲った部分が逃げ面にまで達し，ばりによって引き下げられるというプロセスが繰り返され波形にいくつにも折れ曲った切りくずとなり，ばりによって折れ曲り点の一つで引きちぎられるような折断となる（4aで示す折れ方）。

タイプ5（図 3-6）：切込みよりも送りがやや大きな条件で現われた。前述のタイプ1（横向きカール，右巻き）と次に述べるタイプ6（切削開始からごく短時間の間は横向きカール，左巻き）の中間タイプである。横向きカールの成分をわずかに含む上向きカールで，右巻のコイル状に切りくずが流出する【図3-6(a),(b),(c)】。切りくずの一部が刃物台などに接触して規則正しいラセン形がせん断領域からの一巻目付近で崩れ，切りくずの流出に伴うラセン運動により切りくずが振り回され【図3-6(d)】，せ

ん断領域から一卷目付近までの間で折断される【図3-6(e)】。

タイプ6（図 3-7）：タイプ5の場合よりもさらに切込みに比べ送りが大きい，通常の切削ではあまり用いられない領域，すなわち切込み0.1 mmで，送り0.25～0.51mm/revおよび切込み 0.2～ 0.3mm，送り0.42および0.51mm/revの実験点で起った．切りくずはタイプ1と対称形の横向きカールで生成するが【図 3-7(a)】，被削材仕上げ面と副逃げ面の間の空間が狭いため，横向きカールの左ラセン形とはならず，非常にピッチの長い左ラセンが送りと逆方向に成長し【図3-7(b)～(d)】，切りくずの先端が副逃げ面に引掛かってラセン成長運動が止められ【図3-7(e)】，位置は一定しないが3～5巻の長さで折れる．

なお，このタイプの折断様式では切削仕上げ面に傷がつく．

3. 3. 2 切りくずの断面形状

前節で述べたように本チップブレーカでSS41を乾式切削した場合，切込みと送りの組合わせによって，切りくず折断の様式が6タイプに大別される．本節では切込みレベルごとに各折断様式で生じる切りくずの断面形状の観察結果について述べる．各切りくず折断様式で生じる切りくずの断面形状には特徴があり，後述する湿式切削に於ける折断様式を定めるのに切りくずの形状とともに有効な情報を与えられと考えられる．以下の図 3-9から図3-16まで切りくずのすくい面側を下に示す．

図 3-9は切込み 3.0mmの場合に折断タイプ4aおよび3aの様式で生じる切

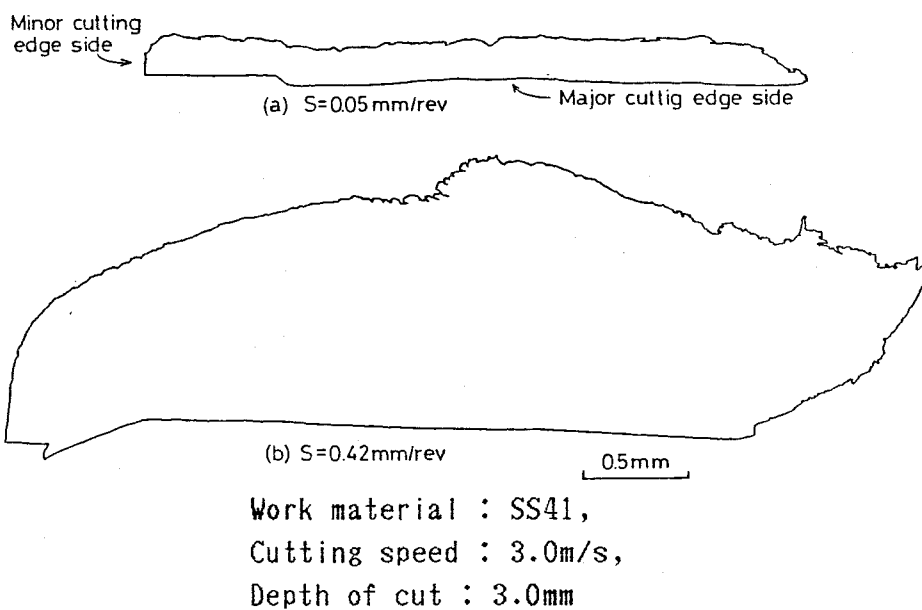


図 3-9 切りくず断面

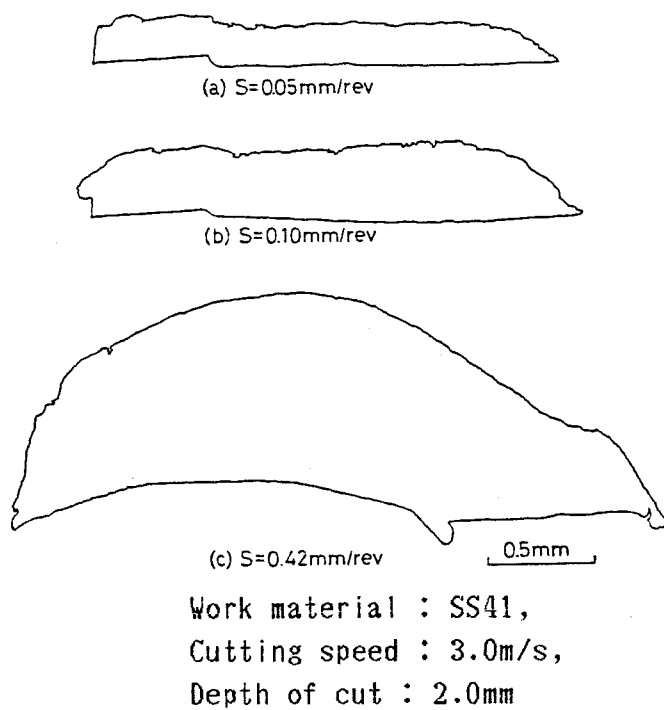
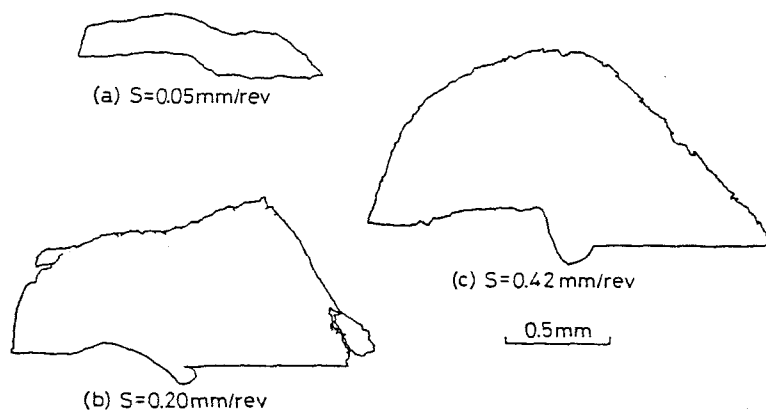
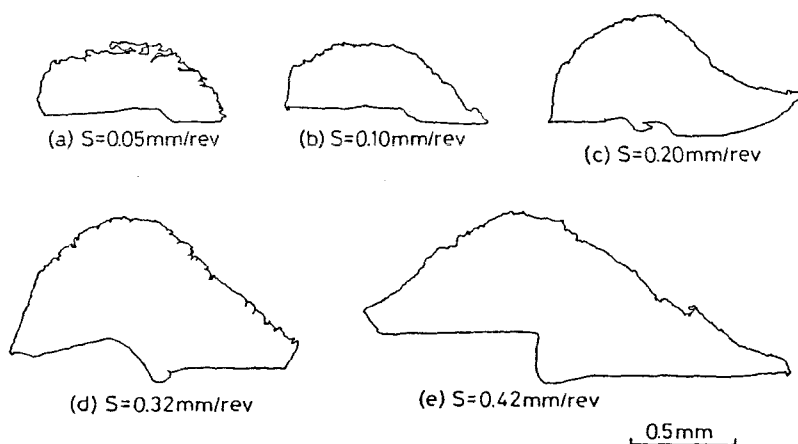


図 3-10 切りくず断面



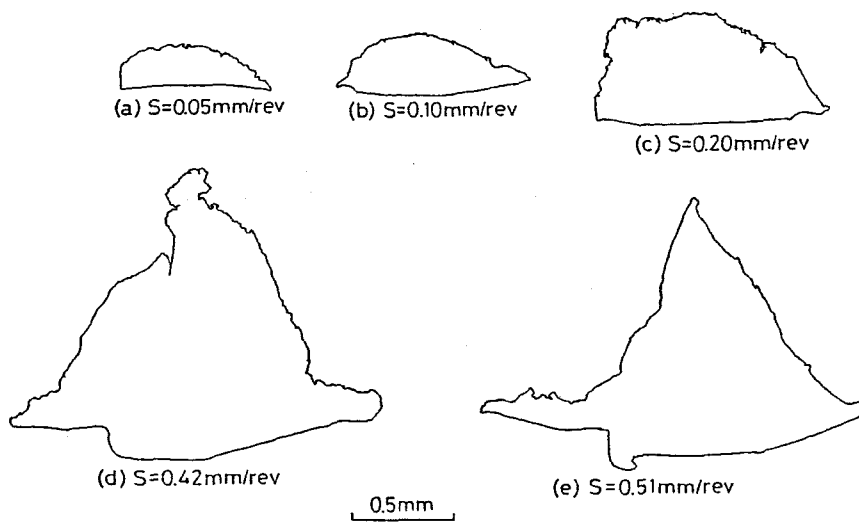
Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s ,
Depth of cut : 1.0mm

図 3 - 1 1 切りくず断面



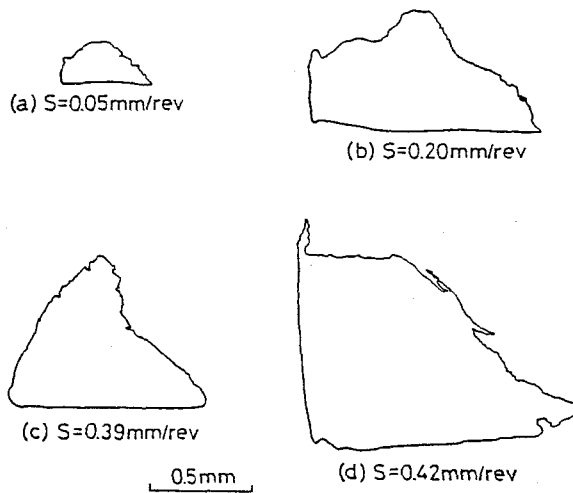
Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s ,
Depth of cut : 0.7mm

図 3 - 1 2 切りくず断面



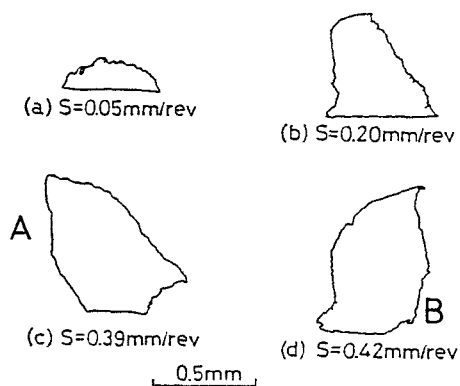
Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Depth of cut : 0.5mm

図 3 - 1 3 切りくず断面



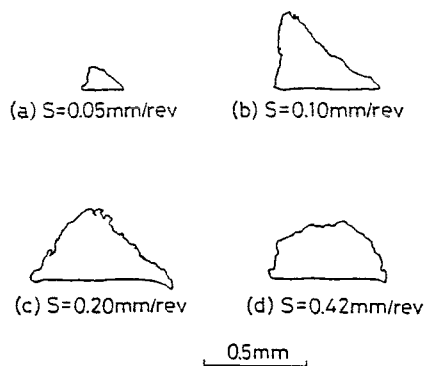
Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Depth of cut : 0.3mm

図 3 - 1 4 切りくず断面



Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Depth of cut : 0.2mm

図 3-15 切りくず断面



Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Depth of cut : 0.1mm

図 3-16 切りくず断面

りくずの断面形状である。図3-9(a)は4aに属する送り0.05mm/revの場合である。この場合、切りくずの幅はほぼ切込みの大きさ 3.0mmに等しく、厚さは幅方向にほぼ一様である。なお副切れ刃側から、0.65mmの位置に段が生じているのは切れ刃に垂直に設けたすくい面上の段のためである。図3-9(b)は折断タイプ3aに属する送り0.42mm/revの場合である。この場合には、幅が切込みの約 1.5倍になっている。厚さは副切れ刃側よりも被削材外周側で厚くなっていて、切りくずが横向きカールの成分を持つことがわかる。切りくずのすくい面側の表面にはすくい面に設けた段が転写された形状になっていない。後に詳しく考察を加えるが、ブレーカ壁との接触によって大きな変形を受けたためである。

図3-10は切込み 2.0mmの場合で、切込み 2.0mmでは送りを大きくすると、切りくず折断様式は4a→4b→3aと変化する。図 3-10(a)はタイプ4aに属する送り0.05mm/revの場合で、断面形状は、図3-9(a)と同様である。なお、おもにサイドフローによると思われる幅の増加量も同程度である。図 3-10(b)はタイプ4bに属する送り0.10mm/revの場合で、幅の増加が大きくなるとともに被削材外周側で若干厚くなっていることがわかる。厚さは切込み3.0mm の場合とほとんど差がない。にもかかわらず折断の頻度が高く、4bの折断タイプになる。切りくずの幅方向に認められる段は送り0.05mm/revの場合よりも小さくなっている。図3-10(c) はタイプ3aに属する送り0.42mm/revの場合で、切込み 3.0mmの場合の切りくずを幅方向に縮めたような形状となっている。

図3-11は切込み 1.0mmの場合で、切込み 1.0mmでは送りを大きくすると、切りくず折断様式は4b→3a→3bと変化する。図 3-11(a)はタイプ4bに属する送り0.05mm/revの場合で、その形状は、図3-9(a)，図 3-10(a)とほとんど同じと言ってよいが、わずかに差が認められる。すなわち切れ刃に垂直にすくい面に設けた段で生じた切りくず幅方向の段が、切りくずとブレーカ壁の接触によるわずかの曲げ変形で見掛け上大きくなっている。これは切りくずの幅が狭くなり、ブレーカ壁と接触して力を受ける領域が狭くなるが、他方切りくずに生じた段による曲げ剛さ増大効果が大きくなったためである。このような効果のため切りくず厚さは切込み3.0，2.0 mmと同程度であるのに切りくず折断が生じやすくなり、4bのタイプになる。図 3-11(b)はタイプ3aに属する送り0.20mm/revの場合で、切りくずの幅が切込みの約 1.6倍になっている。すくい面側の形状は、切れ刃部で生じた段がさらにブレーカ壁との接触により変形を受けている。なお、切りくず厚さが大きいため、自由面側には対応する段は生じていない。同じタイプ3aに属する図3-9(b)，3-10(c)に示す形状を被削材外周側で幅方向に大きく圧縮したような形である。図 3-11(c)はタイプ3bに属する送り0.42mm/revの場合である。送りが同じで切込みが 3.0，2.0mmの場合とその形状に大きな差が認められる。すなわち、すくい面側についた段が図3-9(a)，3-10(a)，3-11(a)に認められる段と異なり、切りくずのすくい面側の面に垂直に近い角度になっている。また段の角部に小さな膨らみがある。

図3-12は切込み0.7 mmの場合で、送りを大きくすると1a→1b→2→3a→

3bと変化する．図 3-12(a)はタイプ1aに属する送り0.05mm/revの場合で，すくい面側に段が転写されている．図 3-12(b)はタイプ1bに属する送り0.10mm/revの場合であるが，切りくず断面の形状は (a)図とほとんど同じである．図 3-12(c)はタイプ2に属する送り0.20mm/revの場合で，切込み1.0mm の場合と類似していると言えるが，ブレーカ壁によって付加された切りくずすくい面側の変形は非常に小さいものである．またサイドフローにより切りくず幅の増大が認められる．図 3-12(d)はタイプ3aに属する送り0.32mm/revの場合で，すくい面側の形状は切れ刃部で転写される段よりも大きな変形をブレーカ壁によって受けており，同じタイプに属する切込み1.0mm，送り0.20mm/revの場合の断面形状との類似性が高い．図 3-12(e)はタイプ3bに属する送り0.42mm/revの場合で，すくい面側の段がすくい面側の面にほぼ直角になっており，また角部に膨らみがある特徴は切込み1.0mm，送り0.42mm/revの場合と同じである．

図3-13は切込み 0.5mmの場合で，すくい面に設けた段は切削に関与せず，切りくずに転写されることはない．送りを大きくしていくと1a→1b→2→3a→5と変化する．図 3-13(a),(b)はそれぞれタイプ1a，1bに属する送り0.05および0.10mm/revの場合で，後者の方が切りくず幅の増加が大きいことを除けば，両者の形状に差はなく，また両者ともブレーカ壁の影響を受けていない．図3-13(c)は，タイプ2に属する送り0.20mm/revの場合で，切りくず幅は切込みの約2倍で，副切れ刃側端面がすくい面側の面にほぼ垂直になっている．図3-13 (d)はタイプ3aに属する送り0.42mm/revの場

合で、断面が三角形状をしている。すくい面側にブレーカ壁との接触で生じた段がついている。この条件での切りくず折段様式は3aであるが、切込みが大きい場合のタイプ3aに属する切りくず断面形状と隔りがある。図 3-13(e)はタイプ5に属する送り0.51mm/revの場合で、切込みと送りがほぼ等しい。すくい面側にブレーカ壁と接触して生じた段がついている。図 3-13(d), 3-13(e)を比較してわかるように断面形状は非常によく似た形をしている。流出方向のわずかな違いにより前者は被削材に当たってタイプ3折断となり、後者はタイプ5に分れたものと考えられる。また、これらの切込みと送り条件では切りくずはせん断型であり、断面を観察する位置によって大きさに差がある。断面の特徴は場所が異なっても同様である。両切れ刃で生じた切りくずの面はすくい面に圧縮されて一つの面になり、断面が三角形状になっている。

図3-14は切込み0.3 mmの場合で、送りを大きくしていくと1a→2→5→6と変化する。図 3-14(a), 3-15(b)はそれぞれタイプ1aおよび2に属する送り 0.05および0.20mm/revの場合で、切込み0.5 mmの場合の図 3-13(a), 3-13(c)とそれぞれ同形である。図 3-14(c)はタイプ5に属する送り0.39mm/revで、すくい面側は滑らかでブレーカ壁との接触がないため段が生じていない。図3-13(e)と似た形状になっていて、両切れ刃で生じた切りくずの面は同様に一つの面になっている。図 3-14(d)はタイプ6に属する送り0.42mm/revの場合で、切込みよりも送りの方が大きく切削状態は副切れ刃が主切れ刃の作用をしている。切りくず断面は大きく圧縮され、

両切れ刃方向へ拡大して三角形状をしている。この場合には両切れ刃で生じた切りくずの面はそのまま切りくずの面を構成しており、切削前に外表面であった直交二面が一つの面のようにになっている。

図3-15は切込み0.2 mmの場合で、送りを大きくしていくと1a→2→5→6と変化する。図 3-15(a)はタイプ1aに属する送り0.05mm/revの場合で、切込み 0.3 mmの場合の、図 3-14(a)と同形である。図 3-15(b)はタイプ2に属する送り0.20mm/revの場合である。主切れ刃で生成された面がすくい面に接し図3-15(a)を厚さ方向に伸ばした形になっている。切込みと送りが同じ場合の切込み0.3 , 0.5 mmでは、三角形状をしているのと違っている。また副切れ刃側で生成された面は、すくい面側の表面に垂直に近い角度をなしているのはタイプ2に属する他の切りくず〔例えば図 3-14(b)〕と同じである。図 3-15(a), 3-15(b)ともにブレーカ壁の作用は受けていない。図 3-15(c), 3-15(d)はそれぞれタイプ5およびタイプ6に属する送り0.39および0.42mm/revの場合である。両者は非常によく似た形状である。副切れ刃で生成された面がすくい面に接して流動し、図中AおよびBで示す位置でブレーカ壁に接触し、接触位置が異なり、前者は右ラセン、後者は左ラセンで流出する。

図3-16は切込み0.1 mmの場合で、送りを大きくすると1a→2→5→6と切込み0.2 mmの場合と同様の経過をたどる。図 3-16(a),(b)に示すタイプ1aおよび2に属する送り0.05, 0.10mm/revの切りくず断面形状は切込み0.2 mmの場合の図 3-15(a), 3-15(b)と同形である。図 3-16(c)はタイプ

5に属する送り0.20mm/revの場合で、同タイプに属する切込み0.2 ～0.5 mmの場合と断面形状が異なる。すなわち、この切込み0.1 mmの場合には副切れ刃で生成した面がすくい面と接し、ブレード壁とは接触せず、見かけ上はタイプ1aの場合の断面形状とほとんど相似形をなしている。図 3-16(d)はタイプ6に属する送り0.42mm/revの場合で、切りくずはブレード壁と接触しないため図 3-15(d)とその変形部だけ異なった形になっている。

以上各切込みレベルにおいてそれぞれの折断タイプに属する切りくず断面を観察した結果、各折断タイプに特徴的な断面形状を有する場合が多いことがわかった。その特徴をあげると、

- (1) 切込み、送りが小さい範囲で、カマボコ形をしている；タイプ1a, 1b.
- (2) 切込み、送りがあまり大きくない範囲で、ほぼ直交する二辺を持つ；タイプ2.
- (3) 切りくずの一辺に直角の段を持つ；タイプ3 b.
- (4) 切りくずが幅広で、均一に薄く、すくい面側に傾斜した段を持つ；タイプ4.

タイプ3 a, タイプ5, タイプ6については各切込みレベルにおいては似た形状をしているが、全体に共通する特徴をあげることは難しい。

3.4 結 言

本チップブレードによりSS41を切削速度3.0m/sで乾式切削した場合の切

りくず折断様式は6タイプに大別できる。切りくず断面形状にある程度特徴が現われており、折断様式を推定するについて利用できると考えられる。

参考文献

- 1) 中山一雄：チップブレーカの研究，日本機械学会論文集（第3部），27， 178（1961） 833.
- 2) 中山一雄：切削加工論，コロナ社，東京，（1979）198.
- 3) K.Nakayama, M.Ogawa : Basic Rules on the Form of Chip in Metal Cutting , Annals of the CIRP, 27, 1（1978）17.
- 4) 中山一雄，新井実：切りくずの折れやすさの測定，精密機械，44， 9（1978）1129.
- 5) 中山一雄：チップブレーカによる切りくず折断，精密機械，26， 8（1960） 482.
- 6) 竹山秀彦，関口博，高田孝次：旋削加工における切りくず処理法—数値制御自動プログラミングの研究（第1報）—，精密機械，36， 2（1970）70.
- 7) 田口三生，横山一男：切削条件と切りくず破断形態との関係，精密機械，47， 8（1981） 969.
- 8) 橋本文男，山崎直樹，杭瀬秀和：切りくず処理に関する研究（第1報）—切りくずの挙動—，精密機械，33， 10（1967） 665.
- 9) Y.Z.Zhang : Chip Curl , Chip Breaking and Chip Control of

the Difficult-To-Cut Materials, Annals of the CIRP, 29,
1(1980) 79.

10) S.Kador , A.Ber , E.Lenz : On the Mechanism of Chip Breaking,
Trans. ASME , Ser.B , 101, 3 (1979) 241.

11) W.Kluft , W.König , C.A.van Luttervelt, K.Nakayama,
A.J.Pekelharing : Present Knowledge of Chip Control , Annals
of the CIRP , 28, 2 (1979) 441.

第4章 乾式切削における切削性能

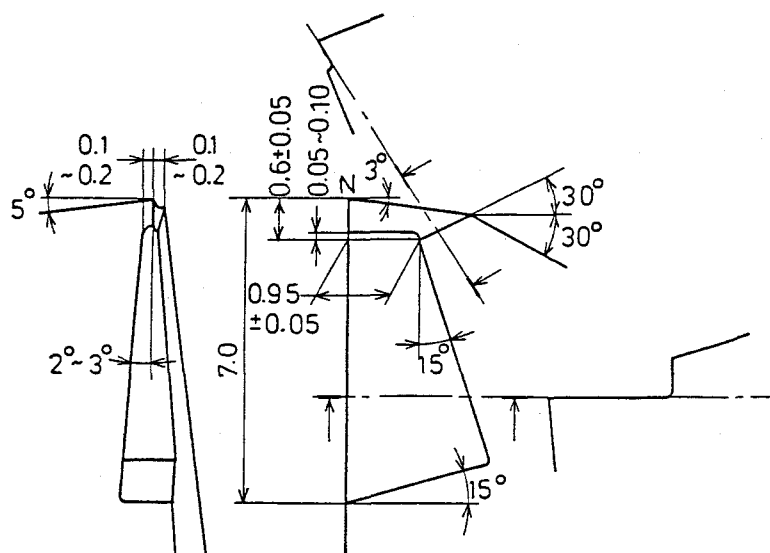
4.1 緒 言

第2章においてSS41を乾式切削する際に広範囲の切込みと送りに対して切りくずを折断できるチップブレード形状を求め、前章においてその切りくず折断プロセスを明らかにした。本章においては他の種類の鋼の乾式切削における切りくず折断性能を調べるとともに、SS41を含め、乾式切削時の仕上げ面粗さと切削抵抗特性および主としてSS41に対して切削距離を増した際の性能変化について調べた結果について述べる。また一部市販チップのチップブレードと比較した。

4.2 実験方法

実験には大隈鉄工所製LS型実用高速旋盤に無段変速機を取付けたもの（5.5kW，8～2424rpm）を使用した。使用工具はE22R-22FU型ホルダに取付けた超硬合金P10種製TNPA 321チップに第2章で求めたブレード形状を付与したものである。その形状を図4-1に示す。比較のために用いた市販の仕上げ用チップはネガティブリードチップブレード付および平行溝形ブレード付TNPR 321であり，中・荒切削用チップは平行溝形チップブレード付TNPR 321である。

表4-1に示す切削条件で外丸削りを行い，切りくず形状，仕上げ面粗さ，切削抵抗を調べた。切削抵抗と仕上げ面粗さを調べる実験では，同一切れ



Holder : E22R-22FU

N : Honed corner (C0.01 ~ C0.02)

図 4 - 1 チップブレイカ形状

表 4 - 1 切削条件

Cutting speed	V	m/s	3.0 (SS41, SUS304) 2.5 (S55C) 2.2 (SCM440, SK5)
Feed rate	S	mm/rev	0.05 ~ 0.51
Depth of cut	a	mm	0.1 ~ 3.0
Work material			SS41, SCM440, S55C, SUS304, SK5
Cutting method			D r y

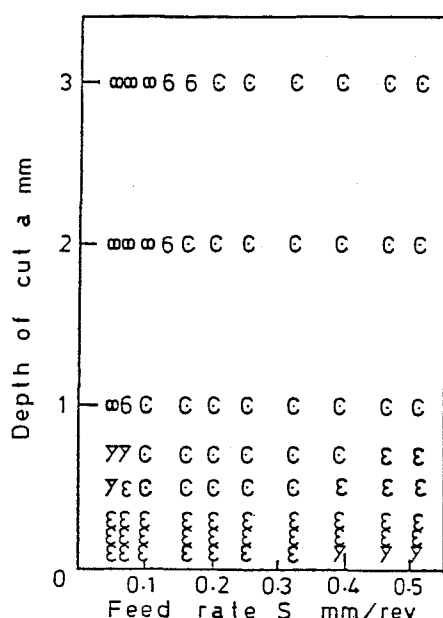
刃によって一つの水準の切込みにおけるすべての送り条件の実験を行い、切込みを変える際に新しい切れ刃に換えた。切削距離を増大させた場合の特性変化を調べる実験では、切削速度は被削材によらず2.5m/sと1.25m/sとした。仕上げ面粗さの測定には、東京精密社製サーフコム60A型触針式表面粗さ・形状測定器を用い、送り方向の仕上げ面のプロファイルを記録の後、10点平均粗さを求めた。また、共和電業社製TD-300KA型工具動力計（最大測定荷重 主分力3000N，送り分力2000N，背分力1500N）を用い、動ひずみ測定器を介してペン書きオシログラフに切削抵抗を記録させた。バイト逃げ面の写真撮影を行ない工具摩耗を測定した。

4.3 実験結果および考察

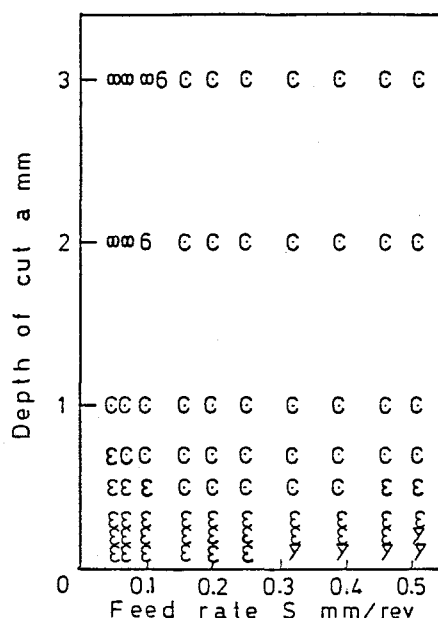
4.3.1 各種の鋼に対する切削性能

i) 切りくず折断性能

図 4-2にSCM440，S55C，SUS304，SK5 の切りくず折断範囲を切込み－送り¹⁾平面上に示す。図は表 4-2に示す精機学会切削性専門委員会の記号によって表示されている。本チップブレーカ付工具で表 4-3に示す鋼を表 4-1に示す切削条件で切削すると，SS41の場合第2章で述べたように，すべての切込みと送りの組合せで切りくずは折断される。これに対して実験に用いた他の鋼では折断されない条件（切込み，送りの組合せ）が存在するが，従来のチップブレーカに比べ広範囲の切込みと送りに対して切りくずが折断されていることがわかる。これらの図を比較すると，破断伸びの大きな



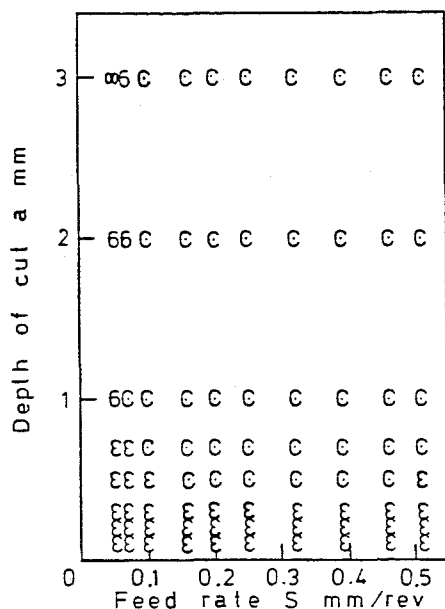
(a) Work material : SCM440
Cutting speed : 2.2m/s,
Cutting method : Dry



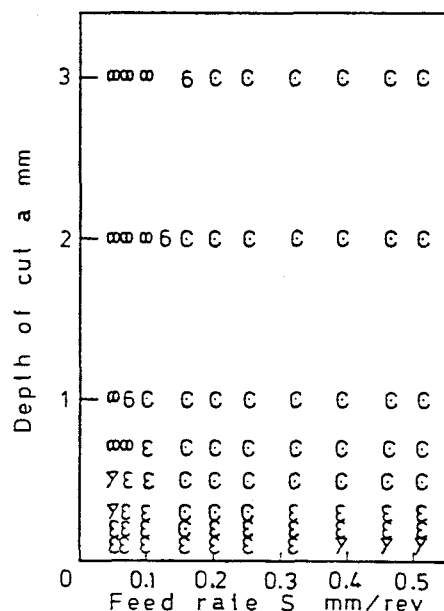
(b) Work material : S55C
Cutting speed : 2.5m/s,
Cutting method : Dry

図4-2 種々の切込みと送りにおける切りくず形状

SS41およびSUS304に対して最も有効となっていることがわかる。SCM440の場合、実験点のうち切込み 0.5mmで送り0.05mm/revおよび切込み 0.7mmで送り0.05, 0.07mm/revではカール半径の大きな斜めカールの連続切りくずとなっている。これらの条件ではSS41の場合、切りくずはカール半径が小さく折断される。図示の場合、切削速度は、2.2m/sであるが、切削速度を1.2m/s程度まで低下させると切りくずは折断される。切込み 2.0, 3.0mmで、送り0.05, 0.07, 0.10mm/revでは切りくずが薄く（SS41材の0.21～



(c) Work material : SUS304
Cutting speed : 3.0m/s,
Cutting method : Dry



(d) Work material : SK5
Cutting speed : 2.2m/s,
Cutting method : Dry

図4-2 種々の切込みと送りにおける切りくず形状

0.37mmに対し，SCM440では0.13～0.23mm）円弧が折れ曲がってつながった波形の切りくずとなる．この場合も切削速度を1.2m/s程度にすれば折断される．SS41の場合にはこのような円弧が折れ曲がってつながった部分（円弧が湾曲の外向きにほとんど 180° の角度に折れ曲っている）で折断されている．

SK5 の場合はSCM440の場合とほとんど同じであるが，切込み0.3mm ，送り0.05mm/revでも連続切りくずとなっている．

表4-2 切りくず形状の分類（精機学会切削性専門委員会）

主 分 類			
種類	記 号 (符号)	形 状	旋 削 例 ドリル加工
1 型	1 (.)	粉状または片状	 [1] [1] [1]
2 型	2 (II)	短冊状	 [2]
3 型	3 (3)	1/2巻き程度以下に 短く折断したもの	 [3] U50  [3] C10
4 型 (C型)	4 (C)	1巻き程度に折れた もの(C字型)	 [4] U20  [4] C40  [4] S3S  [4] C2S
5 型 (E型)	5 (ε)	2～10巻き程度に折 れたもの	 [5] U2S  [5] U3M  [5] U2S  [5] C1S  [5] C2S
6 型	6 (6)	形が不規則に変動す る不連続切りくず	 [6]  [6]
7 型	7 (▽)	規則的形状の連続切 りくず	 [7] U3M  [7] U3L  [7] C3L  [7] C1S  [7] U2S  [7] U1L  [7] N
8 型 (無限型)	8 (∞)	不規則な形の連続切 りくず	 [8] R5Z  [8] C9L
9 型	9 (×)	以上の分類にあては まらないもの	
	0	不明 (データの無い場合)	

表 4 - 3 供試材の機械的性質

	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
SS41	46.5	39.0	61
SCM440	78.3	24.0	55
S55C	72.0	24.5	40
SUS304	71.4	76.0	71
SK5	57.8	37.0	56

S55Cの場合も切込み 2.0 , 3.0mmで送りが小さく、切りくずが折断されない場合の切りくず形状は、SCM440の場合と同様である。炭素鋼の場合、SS41の炭素含有率0.15~0.25%の鋼に比べ炭素含有率0.55%の鋼のほうが一般には切りくずのカール半径が小さく折れやすい傾向にある²⁾が、本チップブレーカの場合、切込み 2.0, 3.0 mmで送り0.05, 0.07mm/revではS55Cの切りくずは折断されないが、SS41の切りくずは折断される。なお、この場合切削速度を 1.67m/s以下とすればS55Cでも切りくずは折断される。

SUS304の場合、実験点のうち切込み3.0 mm, 送り0.05mm/revでラセン状に連続した切りくずを生じたほかは、すべての実験点で切りくずは折断される。折断された切りくずの長さはSS41の場合よりも長くなっている。乾式切削の領域ではSS41でC型となるが、SUS304ではラセン型となる場合が多い。

ii) 仕上げ面粗さ

本チップブレーカでは主切れ刃に対し45°（一般的に Ψ で表わす）の角

度で面取りコーナとしている．このコーナの面取りの長さ（0.02mm）を b で表わし，送りを S ，副切込み角（ 3° ）を κ で表わすと，理論仕上げ面粗さ $R_{\max th} = R_{z th}$ は次式で表わされる．

$$S \leq S_{lim} \equiv b / \tan \kappa \quad (= 0.38 \text{ mm/rev}) \quad (4-1)$$

$$R_{\max th} = R_{z th} = S \tan \kappa / (1 + \tan \kappa \cdot \tan \Psi) \quad (4-2)$$

$$= 0.049 S \quad (4-2')$$

$$S \geq S_{lim}$$

$$R_{\max th} = R_{z th} = \tan \kappa \{ S - b \tan \Psi / (1 + \tan \Psi \cdot \tan \kappa) \} \quad (4-3)$$

$$= 0.052 (S - 0.02) \quad (4-3')$$

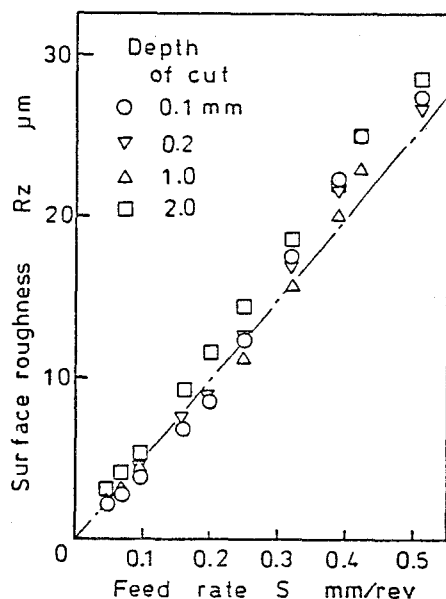
上式において， Ψ と b の誤差は理論粗さにほとんど影響しないが， κ の誤差はそのまま現われる．図 4-3 は SS41 について，切込みをパラメータにして，送りの変化に対する仕上げ面粗さの変化を示す．図中一点鎖線は式（4-2'），（4-3'）による理論仕上げ面粗さである．測定値は多少ばらついているが，切込みの影響はなく，概略送りに比例して仕上げ面粗さが大きくなっており，ほぼ，理論仕上げ面粗さに合致しているといえる．

コーナ半径が零のバイトによる外丸削りにおいては，刃先角が 100° 以上では仕上げ面粗さがほぼ理論仕上げ面粗さに等しく，仕上げ面はバニシされた光沢面になり，刃先角が 90° 以下では理論仕上げ面粗さより小さく，仕上げ面は送りマークの山となるべきところがむしれて肉眼には白くみえると報告されている³⁾．

本チップブレーカ付バイトによる切削仕上げ面はバニシされた光沢面となっている。このバイトの刃先角は 87° でむしれの生じる可能性があるが、送りマークの山となるべきところのむしれは生じていない。切りくずがすくい面上を流出する際副切れ刃からはみ出せばむしれが生じるが、切りくず流出状態の写真撮影の結果によると、本実験においては切りくずはすくい面から副切れ刃側にはみ出していない。副切れ刃角が 3° と小

さいことがむしれを生じさせないために有効に作用していると考えられる。なお、切込み 0.1mm 、 0.2mm と小さい場合、送りが $0.3\sim 0.4\text{mm/rev}$ 以上では、切りくずが送りと逆方向に流出して仕上げ面に接触し、傷付けている。

実験を行った他の4種の鋼についても図4-3と同様の結果になっている。

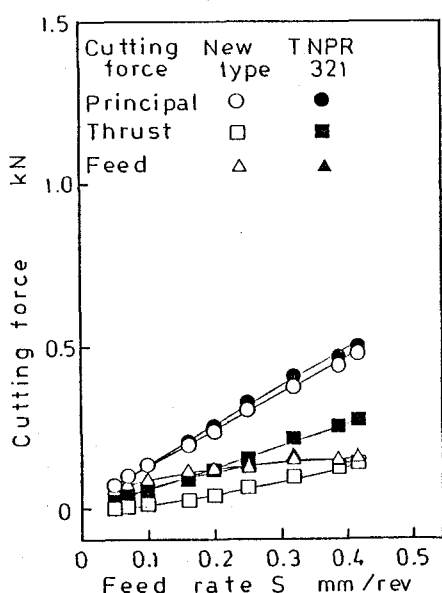


Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s

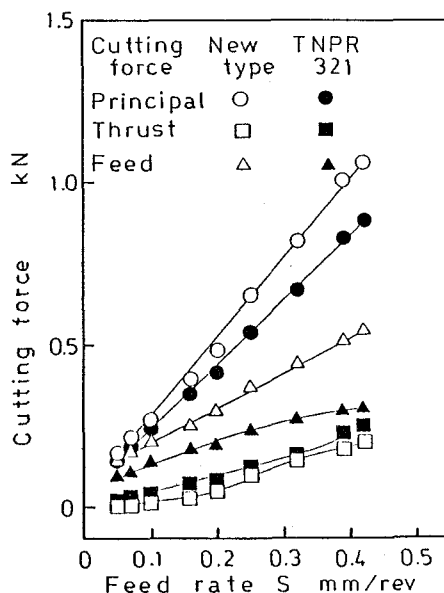
図4-3 仕上げ面粗さと送り，切込みの関係

iii) 切削抵抗

図 4-4にSS41を切込み一定として、送りを変えて切削した場合の切削抵抗の変化を示す。(a)図は切込みが 0.5mmの場合で、比較のために用いた市販のチップは軽切削用平行溝タイプのチップブレーカ付きである。この市販チップは 0.5mmの切込みでは 0.2mm/rev程度以上の送りでブレーカが有効に作用する。切りくずが折断されない場合を含めて、主分力、送り分力は両チップブレーカでほとんど差が認められないが、背分力では本チッ



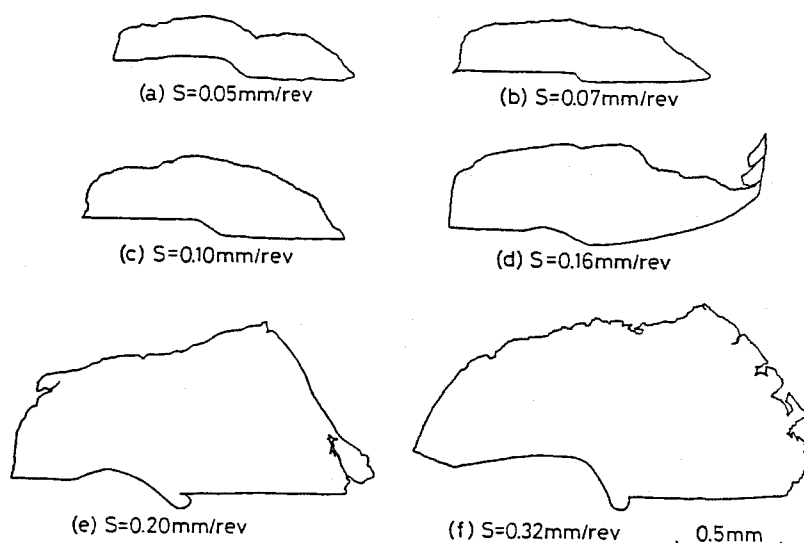
(a) Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Depth of cut : 0.5mm



(b) Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Depth of cut : 1.0mm

図 4-4 切削抵抗と送りの関係

ブブレーカ付工具のほうが小さくなっている。これはコーナ半径が小さいためである。(b)図は切込み 1.0mm の場合で、比較に用いた市販チップは中・荒仕上げ切削用平行溝タイプのチップブレーカ付きである。切込み 1.0mm ではすくい面で切れ刃に垂直に設けた段の部分が切削にあずかることになる。そして切削抵抗は (a) 図とは異なった傾向を示す。すなわち図 4-4(b) に示すように、主分力、送り分力は本チップブレーカ付工具のほうが市販のものより全送り範囲で大きくなっているが、送り 0.20mm /rev を境にして送りが大きい領域で市販品の場合より増加率が大きくなり、その差が拡大している。また背分力では切込み 0.5 mm の場合と同じく本チップブレーカ付工具のほうが小さな値を示すが、やはり送り 0.20mm /rev を境にして市販品の場合より増加率が大きくなっている。これは上述の段とブレーカ壁の作用によると考えられる。すなわち、切れ刃に垂直に設けた段は、段差に相当する長さが非常に大きな傾斜角をもった切れ刃と見ることができる。送りが小さい場合には相対的にこの作用が大きく現われる。さらに図 4-5 に示す切りくずの断面形状からわかるように、送り 0.16mm /rev 以下ではすくい面に設けた段が切りくずに転写されているが、ブレーカ壁との接触が弱く、それ以上の変形はほとんど受けていない。これに対して、送り 0.20mm /rev 以上では切りくずがブレーカ壁との接触により大きく変形を受けている。このことは切りくずの流出に制動がかかったことを意味しており、せん断角が小さくなっている。その結果、ブレーカ壁によりこのような変形を受けない場合に比べ切削抵抗は 3 分力とも大きくなる。送りが



Work material : SS41, Cutting speed : 3.0m/s, Depth of cut : 1.0mm

図 4-5 切りくず断面形状

0.16mm/revではこの変形がわずかであって、送りが大きくなるほど、切りくずがブレーカから受ける変形の度合いが大きくなる。

切込み、送りがともに比較的大きな場合に、本チップブレーカ付工具が市販のものよりも大きな切削抵抗となる特性およびその理由は他の被削材においても同様である。

4.3.2 切削の進行に伴う性能変化

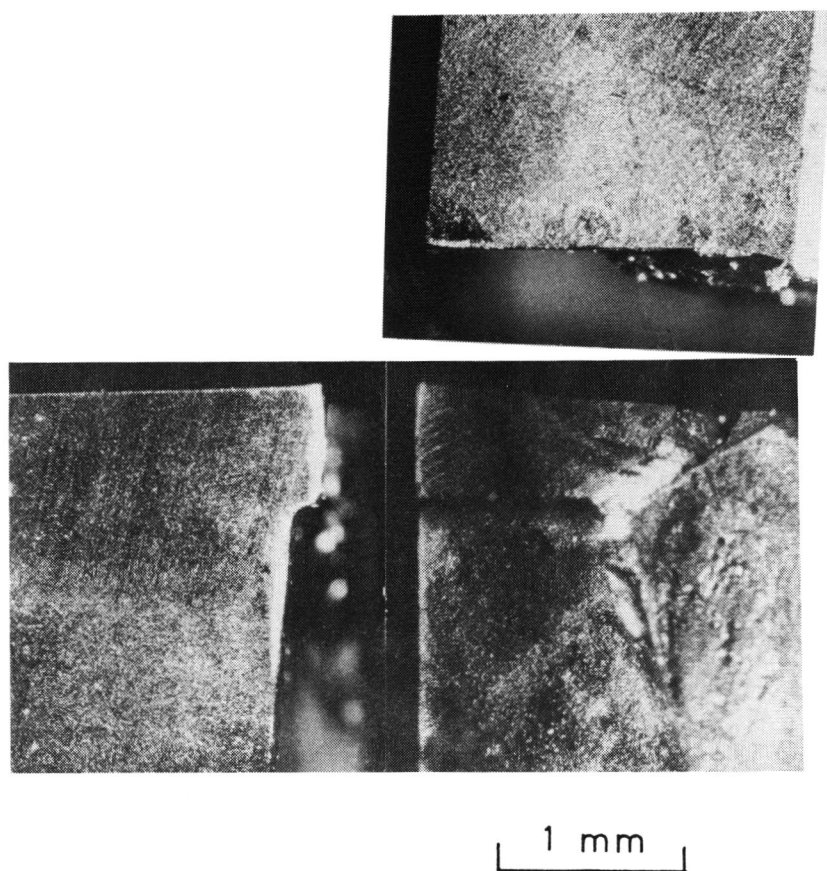
切削の進行に伴い工具は摩耗その他の損傷を受け、その結果として切りくず折断能、仕上げ面状態などが変化する。本節では切削の進行に伴う工具損傷と性能の変化について調べた結果を述べる。4.2で述べたように、本節では被削材によらず切削速度は共通に2.5m/sおよび一部 1.25m/sで実験を行った。

i) 工具損傷

切削速度2.5m/s, 切込み 1.0mm, 送り0.32mm/revおよび0.10mm/revで所定の距離を切削した後の工具の状態を被削材SS41とSCM440についてそれぞれ図4-6, 4-7 に示す. これら両被削材は使用した被削材中引張強度が最小のものと最大のものである.

SS41の場合, 主逃げ面の摩耗がおもな損傷であるが, 副逃げ面, プレーカ壁のポジリード部とネガリード部の交わる部分およびすくい面にもわずかに摩耗が生じる. さらに実際上の障害とはならないが図に一例を示すように切込み, 送りが大きい場合コーナ部分が塑性変形を起こし, 沈下しているのが認められる. また, プレーカ壁のポジリード部とネガリード部の交わる部分のすみ部には切りくずの一部が付着している. しかしこの付着は強固なものではない. 送りが大きい場合には (a)図に示すように境界摩耗が生じていないが, (b)図に示すように送りが小さい場合には境界摩耗が大きく成長する. 同じ 0.10 mm/rev の送りで, 切込みを 0.3mmとした場合にも同じ程度の境界摩耗を生じた. このような境界摩耗が大きく成長すると欠損に至る.

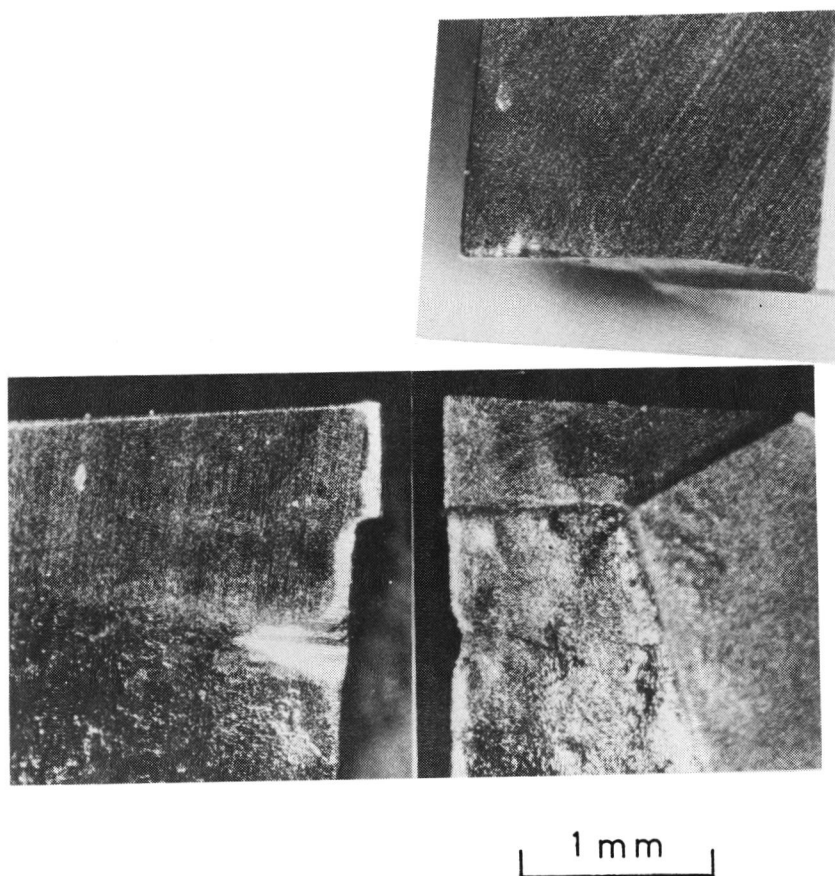
SCM440の場合, 逃げ面, すくい面およびプレーカ壁部の摩耗はSS41の場合より大きく, また図4-7(a)に例示するように, 切込み, 送りが大きい場合, コーナ部の塑性変形による沈下はSS41の場合よりも著しく大きく, 主切れ刃部では主切れ刃に垂直にすくい面に設けた段が不明確になっている. この切削条件では図4-7(a)に示す切削距離 1.0kmで塑性変形が生じている



(a)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev,
Cutting length : 1.0km

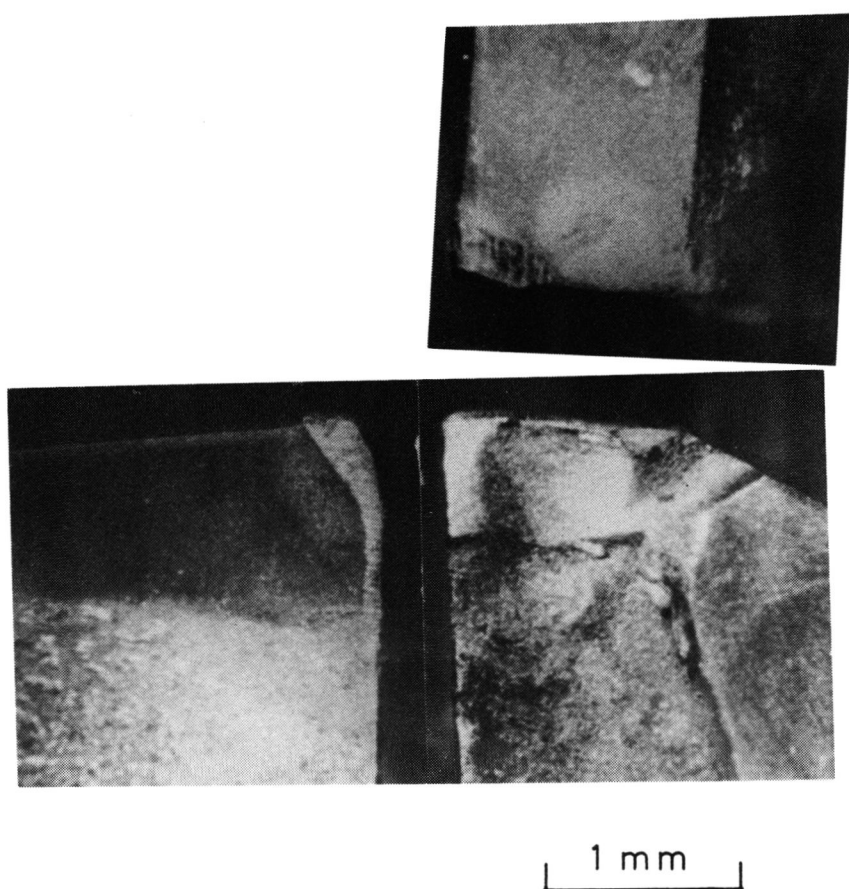
图 4 - 6 工具磨损状态



(b)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.10mm/rev,
Cutting length : 3.0km

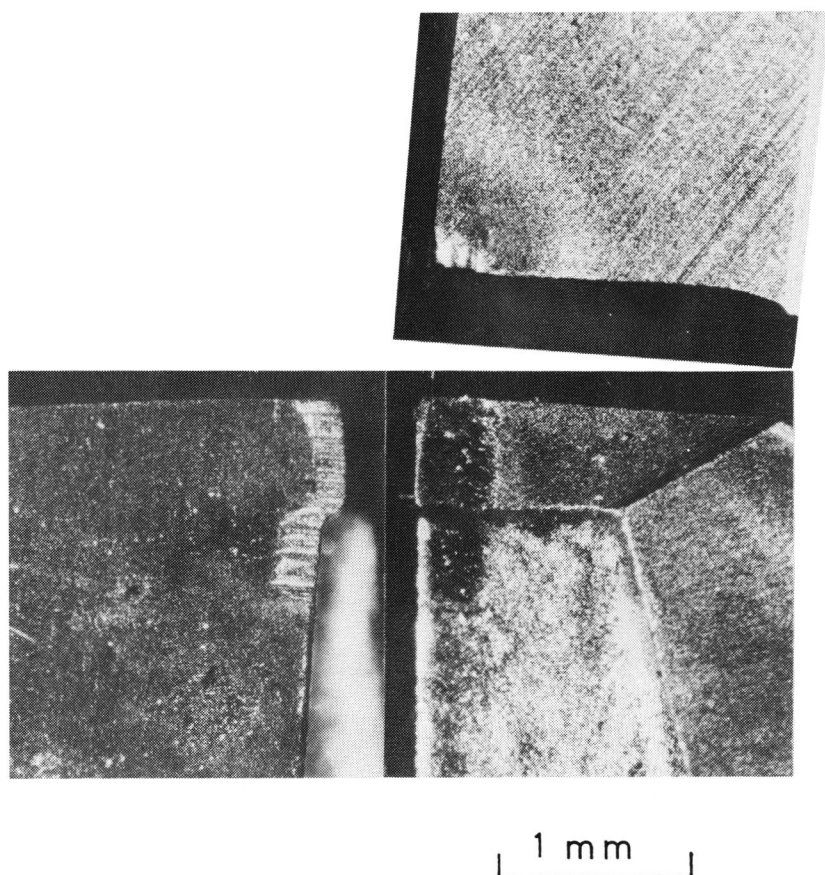
図 4 - 6 工具摩耗状態



(a)

Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev,
Cutting length : 1.0km

图 4 - 7 工具磨损状态



(b)

Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.10mm/rev,
Cutting length : 3.0km

图 4 - 7 工具磨损状态

にもかかわらず、切りくず折断能、仕上げ面粗さともに後述のように切削初期と明白な差はない。しかし、この状態のチップで送りを 0.10mm/rev とすると切りくずは折断されなかった。なお切削速度を 1.25m/s と半減させても同程度の塑性変形が生じた。切込み、送りをこのようにやや大きくしてSCM440を切削するとコーナに近い切れ刃部分の沈下のため、すくい面の摩耗はクレータ状にならない。一方、市販の平行溝形ブレーカでは塑性変形は明確でない代わりにクレータ摩耗が生じ、副切れ刃側の堤防が薄くなって欠落した。図4-7(b)に示すように、切削速度 2.5m/s 、切込み 1.0mm でも送りを 0.10mm/rev と小さくしたところ、切れ刃部の塑性変形は軽微となり、すくい面の摩耗はクレータ状となった。このクレータ摩耗は重大ではなく、またこのSCM440の場合には境界摩耗も無視できる。切込みを 0.3mm 、送りを 0.10mm/rev 程度とすると塑性変形は認められず、また逃げ面摩耗幅も小さいが、境界摩耗が大きく成長する。しかしSCM440切削における境界摩耗はSS41の場合に比べ小さい。

S45Cの旋削 ($V=3.3\text{m/s}$, $a=0.5\text{mm}$, $S=0.05\text{mm/rev}$) においては 0.8mm のコーナ半径を持つバイトよりも零アールバイト (刃先角 90°) のほうが境界摩耗が大きい³⁾。刃先角 90° 、コーナ半径零のバイトで鋼を切削すると境界摩耗が生じやすい機構が存在するようである。

上述のように本チップブレーカ付バイトで旋削する場合、切削速度 2.5m/s 、切込み 1.0mm 、送り 0.32mm/rev ではSS41でもコーナ部が塑性変形している。このような塑性変形は実験に使用した他の被削材でも生じている。

零アールバイトによるS45Cの旋削でも刃先部の沈下が報告されており³⁾，形状に基づく塑性変形の生じやすい機構が存在するものと思われる．本チップブレーカ付バイトの場合，図4-4(b)に切込み 1.0mmの例を示したように，切込みが 0.7mm以上で送りが大きくなると，市販のチップブレーカの場合よりも切削主分力で10～30%大きい．このことから，切れ刃部に作用する応力が大きくなると考えられるが，さらに，切削熱の増大，切削温度の上昇をもたらす．実験に使用した超硬合金材種は塑性変形の生じにくい材種であるにもかかわらず塑性変形が生じているのは切削温度上昇が大きく影響していると考えられる．温度上昇を抑制して本チップブレーカの性能を保持するためには，耐熱性の良好な工具材を使用するとともに，湿式切削が有効と考えられる．湿式切削の効果については第5章で述べる．

ii) 切りくず折断性能

逃げ面摩耗幅 (V_b もしくは V_c) が 0.1～0.2mmまで切削を行ったが，この程度の摩耗では逃げ面の摩耗による切りくず折断性能の低下は認められなかった．すなわち，被削材がSS41の場合，実験を行った切込みと送りの範囲では切りくずはすべて折断されており，バイトのすくい面にはクレータは生じない．そのため実験の範囲内では切削初期より切削打切りまで切りくずの形状は変化しなかった．これに対してSCM440では比較的軽切削においてはクレータ摩耗を生じ，切削初期に切りくずが折断されず，切削の進行とともに折断されるようになる場合があった．これは市販のチップブレーカにおいても経験されることである．SCM440を，切込み，送りが比

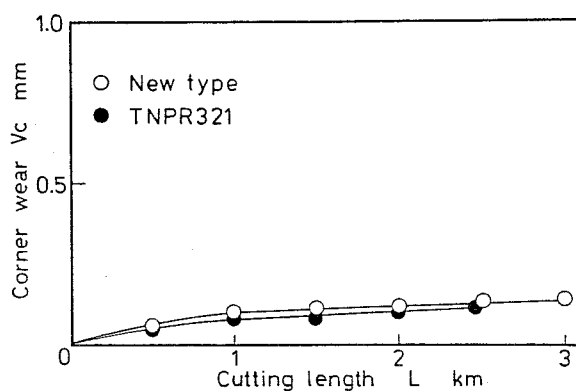
較的大きな条件で切削するとコーナ部が塑性変形により沈下したが、同じ切削条件で切削を続ける限り切りくずは折断された。前述のように切削速度2.5m/s、切込み 1.0mm、送り 0.32 mm/revで 1.0km 切削後、送りを 0.1mm/rev としたところ、切りくずは折断されなかった。

iii) 仕上げ面粗さと摩耗幅

切削の進行とともに工具摩耗が進行し、それとともに一般には仕上げ面粗さも劣化する。SS41を切削速度2.5m/sで切削した場合の、仕上げ面粗さに直接的に影響すると考えられるコーナ部の摩耗幅と仕上げ面粗さの経過を図 4-8、4-9 にそれぞれ示す。図4-8(a)に示す切込み 1.0mm、送り0.32 mm/revの場合、摩耗幅の増加状態は本チップブレーカ付チップと市販の平行溝形チップブレーカ付チップとではほとんど差がないが、図4-9(a)に示すように仕上げ面粗さは本チップブレーカ付チップで削った場合、市販チップを使った場合の 1/2程度である。また両チップはいずれも摩耗幅が増しても切削距離 2.5kmまでは仕上げ面粗さがほとんど変化がない。

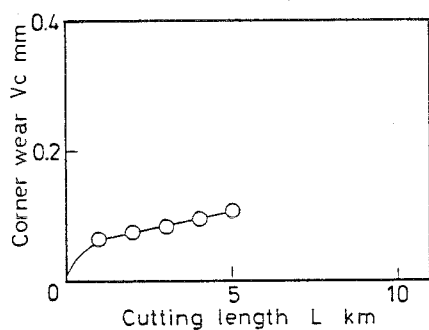
図4-8(b)、図4-9(b)に切込み 1.0mm、送り0.10mm/revの場合のコーナ摩耗幅と仕上げ面粗さの経過をそれぞれ示す。切削距離の増大に伴う摩耗幅、仕上げ面粗さの変化は、それぞれ図4-8(a)、図4-9(a)の場合と同様の傾向を示している。送りを小さくしたことにより摩耗幅は軽減され、また仕上げ面粗さは図 4-3に示すように送りに比例して約 1/3に小さくなっている。

図 4-8(c)、図4-9(c)は切込み0.3 mm、送り0.10mm/revの場合のコーナ摩耗幅と仕上げ面粗さの経過である。この場合は市販チップとの比較に、



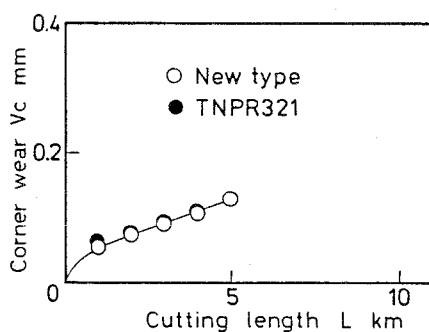
(a)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev



(b)

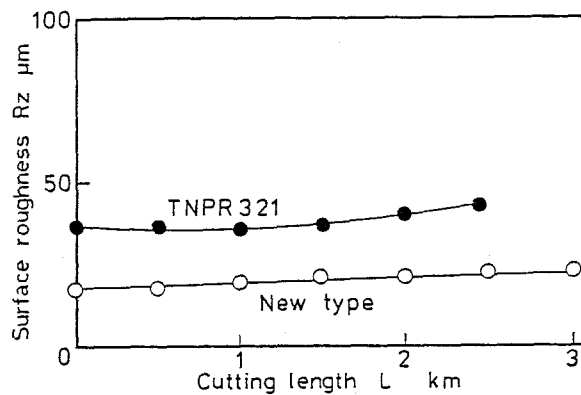
Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.10mm/rev



(c)

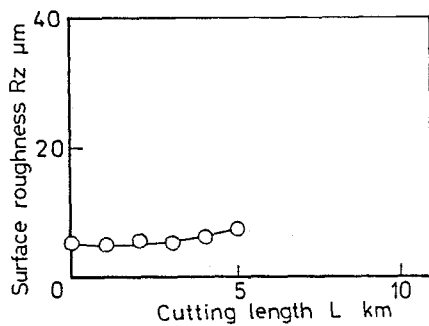
Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev

図 4-8 切削距離の増大に伴うコーナ摩耗幅の変化



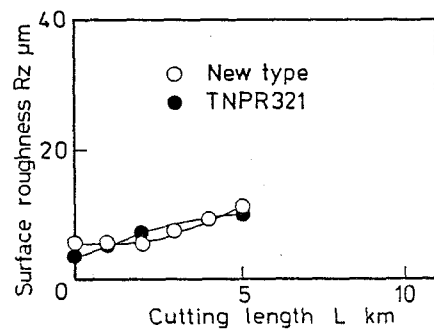
(a)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev



(b)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.10mm/rev



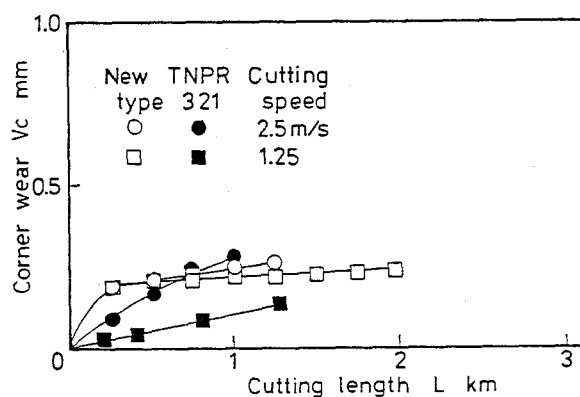
(c)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev

図 4 - 9 切削距離の増大に伴う仕上げ面粗さの変化

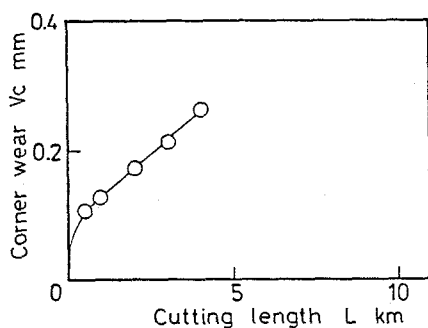
ネガティブリード型チップブレーカ付チップを用いた。コーナ摩耗幅は本チップブレーカ付チップと市販チップとでほとんど差は認められない。切込み，送りともに大きい(a)図の場合と比較すると若干摩耗の進行が遅いようであるが，送りが同一で切込みが大きい(b)図と比較するとわずかに摩耗の進行が速いようである。仕上げ面粗さも市販チップとの差は小さい。

図4-10，図4-11にSCM440を切削速度2.5m/s（一部 1.25m/s）で切削した場合のコーナ摩耗幅と仕上げ面粗さの経過を示す。図 4-10(a)に示す切込み1.0 mm，送り0.32mm/revの場合，市販の平行溝型チップブレーカ付チップでは摩耗幅が漸増しているのに対し，本チップブレーカ付チップでは0.25kmにおいてすでに 0.2mm程度の摩耗幅となり，それ以後1 km ($V=2.5\text{m/s}$ の場合) または2 km ($V=1.25\text{m/s}$ の場合) までわずかの増加しか示さない。これは本節(i)で述べたようにコーナ部のかなり広い部分が塑性変形を起こし，沈下するためである。すなわち，この場合には摩耗幅を沈下したすくい面の位置から測定している。図4-7(a)から推察されるように，コーナ部が沈下すると副切れ刃が被削材側へせり出す。摩耗はこのせり出した部分でおもに生じるため，摩耗幅としては小さな値となる。市販チップでは切削速度を2.5m/sから 1.25m/sに低下させると摩耗幅は半減している。これに対して，本チップブレーカ付チップではわずかの低下しか示さない。これもコーナ部の沈下，副切れ刃のせり出しのためで，切削速度2.5m/sではこの沈下とせり出しが切削速度 1.25m/sの場合よりも大きい。このようなコーナ摩耗の進行に対して，図 4-11(a)に示すような仕上げ面



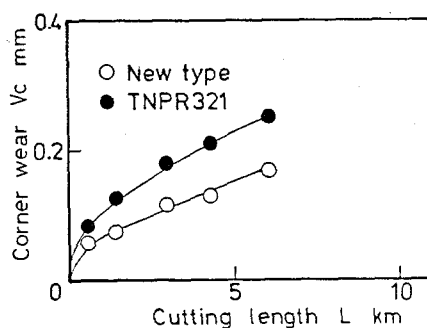
(a)

Work material : SCM440,
Cutting speed : 1.25m/s, 2.5m/s
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev



(b)

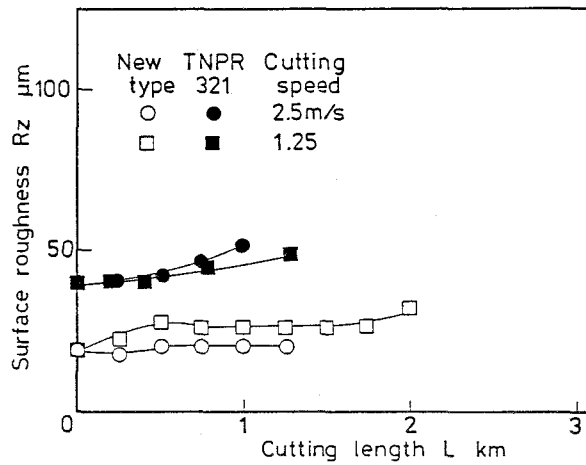
Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.10mm/rev



(c)

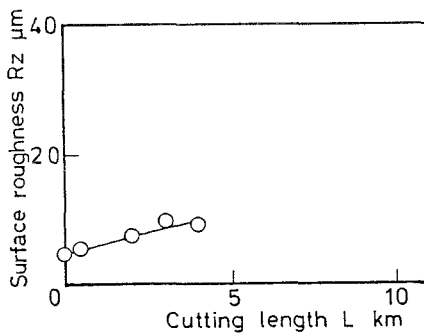
Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev

図 4 - 1 0 切削距離の増大に伴うコーナ摩耗幅の変化



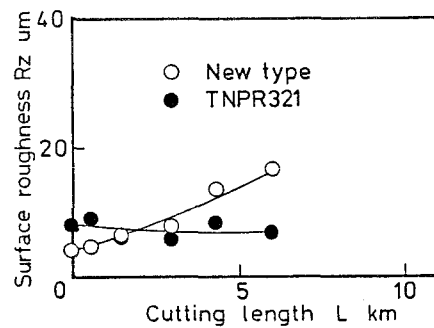
(a)

Work material : SCM440,
Cutting speed : 1.25m/s, 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev



(b)

Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.10mm/rev



(c)

Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev

図 4 - 1 1 切削距離の増大に伴う仕上げ面粗さの変化

粗さの進行状態となる。図中、市販チップで切削距離 1.4kmにおいて仕上げ面粗さが急増しているのは、クレータ摩耗が進行し、コーナ部が欠け落ちたためである。市販チップを用いて削った場合、切削速度2.5m/sでは摩耗の進行につれて仕上げ面粗さが劣化する傾向が認められるが、他の場合には仕上げ面粗さの劣化はほとんど無い。また市販チップの場合には切削速度2.5m/sと 1.25m/sで摩耗幅に大きな差が認められるにもかかわらず、仕上げ面粗さにはほとんど差が認められない。これに対し、本チップブレーカ付チップではわずかながら摩耗の少ない切削速度 1.25m/sの場合に仕上げ面粗さが大きくなっている。上述のように切削速度2.5m/sではコーナ部の塑性変形が大きく、これが影響して切削速度 1.25m/sの場合よりも仕上げ面粗さが小さくなっているものと思われる。

本チップブレーカ付チップではコーナ部が沈下しているのであるが、図 4-9(a)に示すSS41の場合と同様、本チップブレーカ付チップで削った場合には市販チップで削った場合に比べ仕上げ面粗さは 1/2程度になっている。

図 4-10(b)、図 4-11(b)に切込み 1.0mm、送り0.10mm/revの場合のコーナ摩耗と仕上げ面粗さの経過をそれぞれ示す。この切削条件ではコーナ部の塑性変形は軽微であり、図4-7(b)に示すように副逃げ面には送りマークに相当する摩耗痕が認められ、また図 4-10(b)に示すように、切削の進行とともに摩耗幅は急増している。このような摩耗特性に対応して、図 4-11(b)に示すように仕上げ面粗さも増大している。

図 4-10(c)、図 4-11(c)に切込み0.3 mm、送り0.10mm/revの場合のコー

ナ摩耗と仕上げ面粗さの経過をそれぞれ示す。この場合、本チップブレーカ付チップ、市販のネガティブリード型ブレーカ付チップのいずれも切削の進行とともにコーナ摩耗幅は増大している。そして市販チップのほうが若干大きな摩耗幅を呈している。このような摩耗の進行に対し、仕上げ面粗さは市販のチップではほとんど変化がないのに対して、本チップブレーカ付チップでは、切込み 1.0mm、送り0.10mm/revの場合と同様仕上げ面粗さは急速に劣化している。これは切込み 1.0mm、送り0.10mm/revの場合と同じく副逃げ面側に生じた境界摩耗のためである。市販チップでは副逃げ面側に顕著な境界摩耗は生じていない。

4. 4 結 言

本章では第2章で求めたチップブレーカ形状が、SS41以外の鋼（SCM440，S55C，SUS304，SK5）に対しても有効かどうかを調べた。続いてこれら5種類の鋼のうち、SS41，SCM440について切削性能（仕上げ面粗さ，切削抵抗，切削距離を増大させた場合のこれらの変化および切りくず折断性能）を調べた結果に検討を加えた。得られたおもな結論は次のとおりである。

- (1) 切込み0.1 mmから 3.0mmまで，送り0.05mm/revから0.51mm/revまでの範囲で，SUS304はほとんどすべての領域で切りくずが折断される。次いでS55C，SK5，SCM440 の順に折断されない領域が広くなるが，その領域は狭いものである。

(2) 工具摩耗が無視できる切削距離においては、仕上げ面粗さは理論仕上げ面粗さにほぼ合致し、次式で表わされる。

$$R_{\max th} = R_{z th} = 0.049 S \quad (S \leq 0.38 \text{mm/rev})$$

$$R_{\max th} = R_{z th} = 0.052 (S - 0.02) \quad (S \geq 0.38 \text{mm/rev})$$

(3) 切れ刃に垂直にすくい面に設けた段が切削にあずかる切込みにおいて、送りが大きくなると市販チップに比し、10～30%切削抵抗の主分力が大きい。なお背分力は市販チップのそれより小さい。

(4) 摩耗幅が 0.1～0.2mm程度までは切りくず折断性能は保持される。

(5) SS41を小さな送りで切削すると切削の進行につれ主逃げ面に境界摩耗が成長する。SCM440を小さな送りで切削すると、主逃げ面の境界摩耗は認められないが、副逃げ面に境界摩耗が発生し、これが仕上げ面粗さを劣化させる。

(6) 切込み、送りが大きい場合、コーナ部の塑性変形が生じやすく、耐熱性の良好な工具材が必要である。

参考文献

- 1) 中山一雄：切削加工論，コロナ社，東京，（1978） 210.
- 2) 伊藤哲朗，高橋徹夫，木村篤良：被削材からみた切りくず処理，機械技術，21，11（1973） 24.
- 3) 中山一雄：コーナに丸味をつけないバイト（ゼロRバイト），精密機械，40， 5（1974） 409.

第5章 湿式切削における切削性能

5.1 緒言

切削加工において切削油剤を用いる主な目的は、大別して

- (1) 工具面（すくい面，逃げ面）の潤滑
- (2) 工具，被削材の冷却
- (3) 切りくず細片の排除
- (4) 仕上げ面の保護，防錆

の4つの効果¹⁾を期待するものである。しかし，超硬工具，セラミック工具による高速切削では，工具面（すくい面，逃げ面）の潤滑効果はあまり期待できず，切削油剤による冷却は必ずしも必要ではない。そのため，切削油剤を使用しないで切削加工が行われることが多い²⁾。しかし外部から冷却すると塑性変形域内の温度が低下し，応力の分布が変わり，切削状態にも変化が生ずるはずである。またジェット注液法と称し，切削油剤をノズルから高圧噴流として逃げ面に沿って供給することにより相当の効果が期待できるという報告³⁾もある。

前章で述べたように，本チップブレード付バイトでは切込みと送りが大きい場合，市販のチップに比べて切削抵抗の主分力が大きく，コーナ部で塑性変形が生じやすい。これは切削抵抗が大きいため，切削温度が高くなることが大きな原因と考えられる。そこで，潤滑効果よりも冷却効果の大きいエマルジョン型水溶性切削油剤を多量に供給することより，切削部の

温度を低下させて工具寿命を延長させ、チップブレードの性能を調べることを目的として実験を行った。湿式切削によって切りくず折断性能が大差ないか、もしくは改善され、さらに寿命が延長されるなら本チップブレードは一層実用的なものとなる。

5. 2 実験装置および方法

実験装置は前章で用いたものに、切削油剤供給装置を付加したものである。すなわち、使用工作機械は大隈鉄工所製LS型実用高速旋盤に無段変速機を取付けたものである。切削油剤は切削部上方から、ノズルにより毎秒360ml供給した。用いた切削油剤はエマルジョン型水溶性切削油剤ユシローケンEC-50（ユシロ化学工業株式会社製）を20倍に希釈したものである。使用した工具形状は前章図4-1と同形である。実験方法も前章と同様であり、切削抵抗と仕上げ面粗さを調べる実験では、同一切れ刃によって一つの水準の切込みにおけるすべての送り条件を行い、切込みを変える際に新しい切れ刃に換えた。切削条件を表5-1に示す。仕上げ面粗さ、切削抵抗の測定機器、測定方法は前章と同様である。

5. 3 実験結果および考察

5. 3. 1. 湿式切削における切削性能

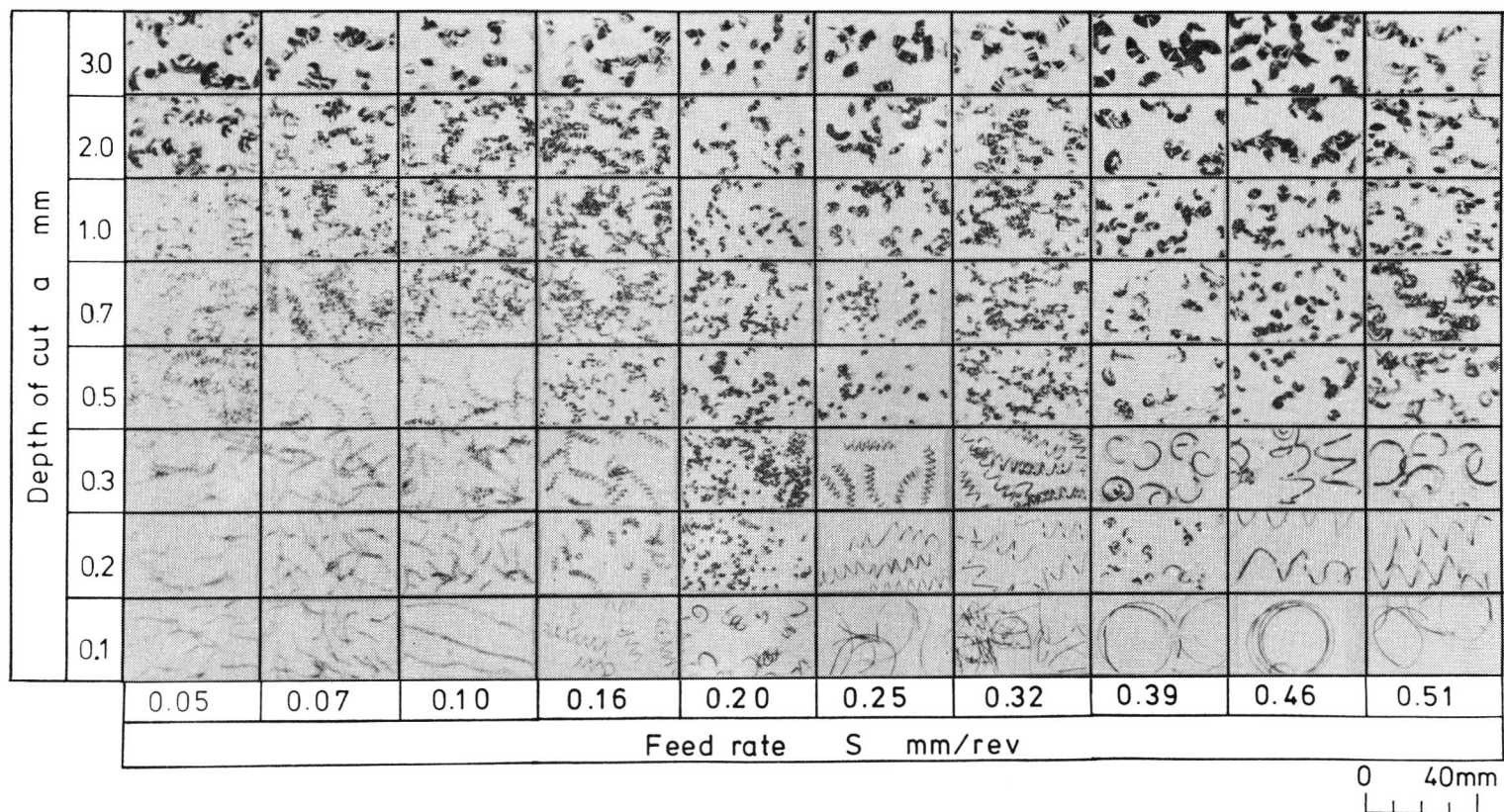
i) 切りくず折断性能

本チップブレード付バイトを用いてSS41を湿式で外丸削りしたときの切

表 5 - 1 切削条件

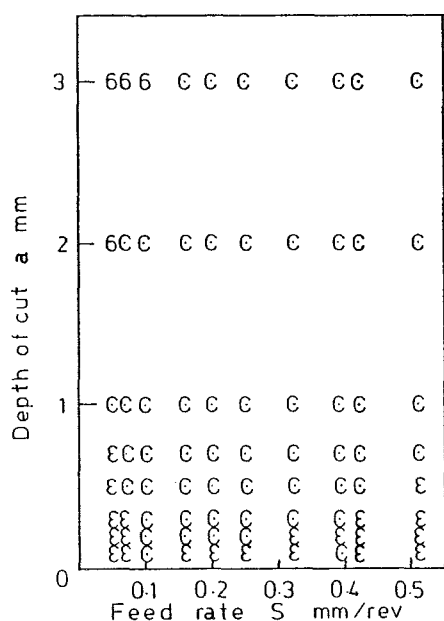
Work material	SS41, SCM440, S55C, SUS304, SK5
Cutting speed V m/s	3.0 (SS41, SUS304) 2.5 (S55C) 2.2 (SCM440, SK5)
Feed rate S mm/rev	0.05~0.51
Depth of cut a mm	0.1 ~ 3.0

りくずを図 5-1に示す。切りくずは乾式の場合（図2-14）に比べてやや長くなっているが，ほぼ全般にわたって短く折断され，本チップブレードが湿式切削においても有効であることを示している。ただし，実際にはほとんど使われることのない切込みが 0.1mmで送りが0.25mm/rev~0.51mm/revの範囲においては，切りくずが直線状に長く続き，折断されなかった。また，切りくずの色を観察すると，乾式切削の場合に比べ銀白色の切りくずが多く，焼けが少なく，切削油剤による冷却の効果が現われていることがわかる。この場合の切りくずの形状を表 4-2に示した精機学会切削性専門委員会の記号によって分類し，乾式切削の場合とともに図 5-2に示す。図より切込み-送り平面上で切りくずの同じタイプが占める領域の変化が容易にわかる。すなわち，上述のように湿式切削では切込みが0.1 mm，送り



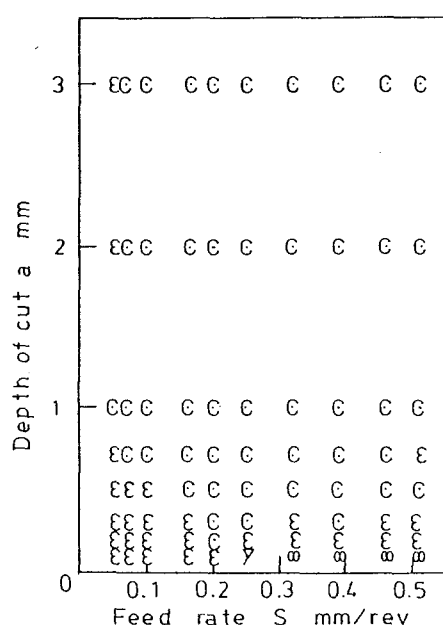
Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s

図 5 - 1 湿式での切りくず形状



(a)

Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Cutting method : Dry



(b)

Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Cutting method : Wet

図5-2 種々の切込みと送りにおける切りくず形状

が0.25~0.51mm/revで連続切りくずとなっているほか、切込みが大きく、送りの小さい場合に乾式切削で不規則な形状であるものが、湿式切削では規則的な形状の切りくずに変っている。これと逆に、乾式切削で規則的な切りくず形状となる切込みが小さく、送りの大きい場合には、湿式切削では不規則な形状の切りくずが現われている。これは切りくずの流出状態が変化したためである。すなわち、切込みが大きく、送りが小さい場合、図5-3に示す切りくず断面の例からわかるように、乾式切削においては切り

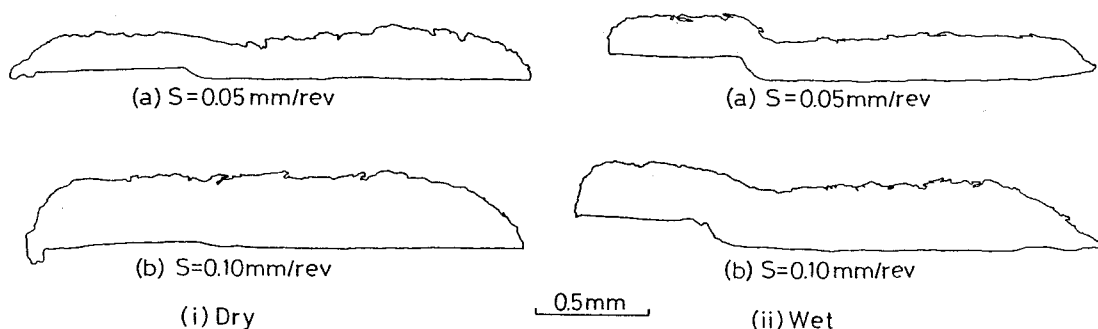


図 5-3 切りくず断面形状

くずはブレーカ壁との接触で大きく変形を受け、断面形状が変化している。しかし湿式切削の場合には、そのような変形が少い。このことは湿式切削においては、切りくず生成時のカール半径が小さく、ブレーカ壁で切りくず誘導が安定していることを意味する。したがって、誘導された切りくずが、第2章で述べたように被削材と主逃げ面で囲まれる空間に流出したとき切りくず折断が起こりやすくなる。切込みが大きく、送りの小さい場合に限って湿式切削をすることにより切りくずは短くなっている。

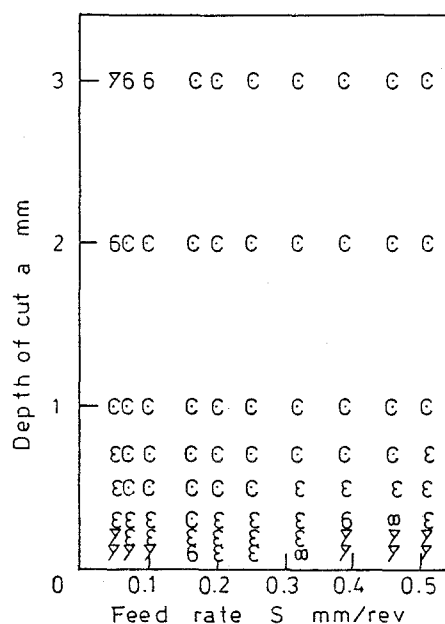
切込みが小さく、送りが大きい場合には、乾式切削においては左巻きのラセンが生じているが、湿式切削においては横向きカールの成分を持たず、ほぼ完全に上向きカールとなり、かつそのカール半径が小さいためブレーカ壁による誘導作用を受けず、不規則な形状になる。

SCM440の場合に得られた切りくずの形状を記号表示で分類したものを図

5-4 に示す．SCM440の場合，切込みが大きく，送りの小さい領域では湿式切削とすることによって切りくずが折断される領域が広くなり，実際にはあまり用いられない切込みが小さく，送りが大きい領域で切りくずが折断されない領域が広がっている．また，切込み，送りともに小さい狭い領域でも連続切りくずを生じている．他の領域では湿式切削とすることによって切りくずは折断されているものの

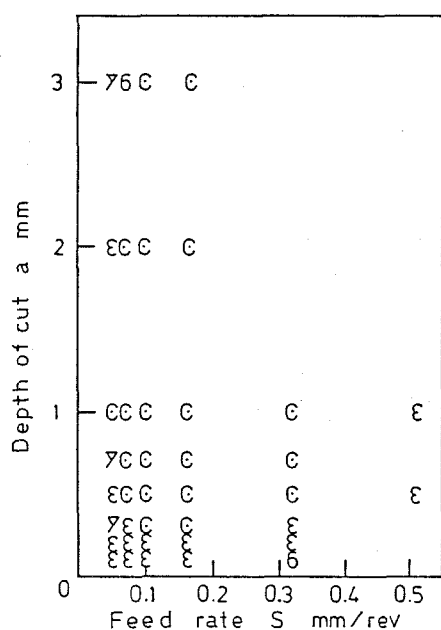
やや長めになっている．以上のような変化はSS41について述べたものとほぼ同じである．実用的見地からは湿式切削によって切りくず折断領域が広がったと言える．

同様にS55C，SUS304，SK5を湿式切削で旋削した場合の切りくずの形状を記号表示で分類したものを図5-5(a)～(c)に示す．これら3種の鋼については送りの小さい領域を中心に調べた．S55Cの場合，切込み 0.7mm および 0.3mm で，送り 0.05mm/rev の場合，連続形の切りくずに変ったほかは，



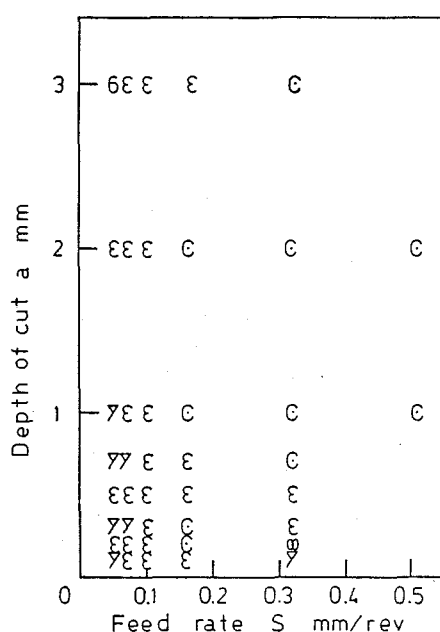
Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.2m/s,
Cutting method : Wet

図5-4 種々の切込みと送りにおける切りくず形状



(a)

Work material : S55C,
Cutting speed : 2.5m/s,
Cutting method : Wet



(b)

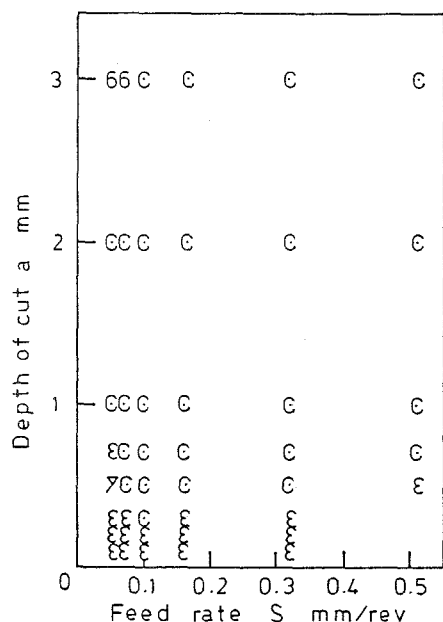
Work material : SUS304,
Cutting speed : 3.0m/s,
Cutting method : Wet

図5-5 種々の切込みと送りにおける切りくず形状

SCM440の場合と同様、切込みが大きく、送りの小さい領域では切りくずが折断される領域が広がっている。SK5 の場合は切込み0.5mm で送り0.05 mm/revの場合のみ連続形切りくずのままであるが、送りの小さい他の条件ではすべて切りくずが折断された。これに対し、SUS304の場合、他の鋼と同様、切込みの大きい3.0 mm、送り0.05mm/revでは不連続形になったが、切込み 1.0mm以下で送りの小さい条件では不連続形切りくずであったものが連続形切りくずになった。

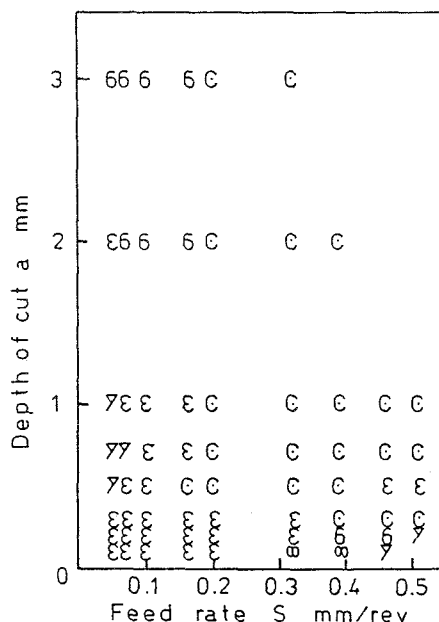
実際に用いられることの少ない切込み 0.1～0.2mmで送り0.25mm/rev以上のような領域を除けば，SCM440，S55C，SK5 の場合，湿式切削とすることにより，切りくず折断領域は広がる。しかし，SUS304では湿式切削とすると切りくず折断領域が狭くなった。

図 5-6はSS41について切削速度を5.0m/sとした場合の切りくず折断状態である。图中，切込み，送りがともに大きい領域で表示がないのは工具損傷のため安定に切りくずの収集ができなかったためである。図に示すよう



(c)

Work material : SK5,
Cutting speed : 2.2m/s,
Cutting method : Wet



Work material : SS41,
Cutting speed : 5.0m/s,
Cutting method : Wet

図5-5 種々の切込みと送りにおける切りくず形状

図5-6 種々の切込みと送りにおける切りくず形状

に切削速度を5.0m/sにすると切りくずが折断されない場合が生じるが、本チップブレーカがやはり広範囲の切込み、送りに対して切りくず折断が可能であることを示している。

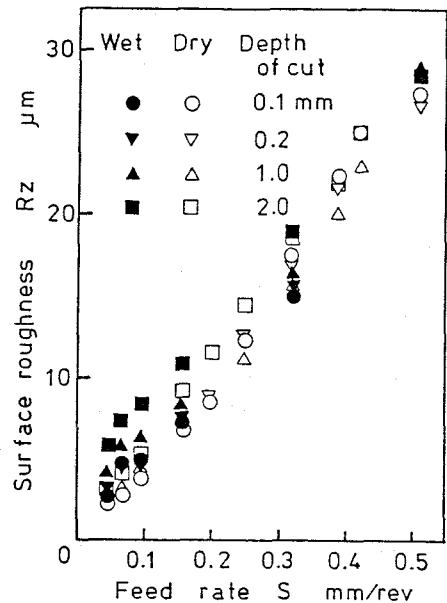
ii) 仕上げ面粗さ

SS41の外丸削りを行った時の、送りに対する仕上げ面粗さの変化を図 5-7に示す。湿式切削での仕上げ面粗さは乾式切削の場合と同様、送りの増加に対してほ

ぼ直線的に増加している。しかし、切込みが大きいものほど仕上げ面粗さが大きくなっており、理論仕上げ面粗さからのずれも大きい。

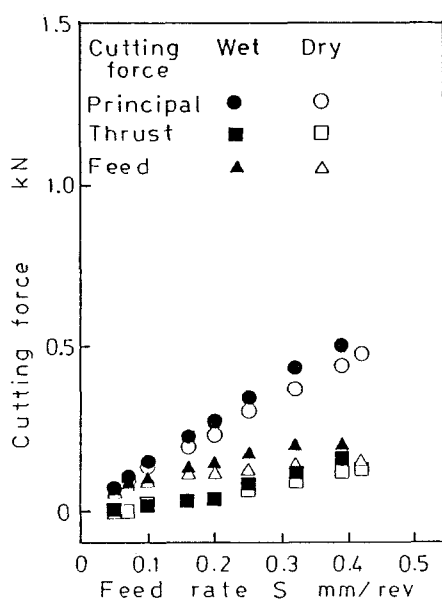
iii) 切削抵抗

切込みを一定として、送りを変えてSS41を切削した場合の切削抵抗の変化を図 5-8に示す。図5-8(a)は切込みが 0.5mmの場合で、湿式切削の場合、3分力のいずれも乾式切削の場合に比べて少し大きくなっている。これに対して図5-8(b)に示すように、すくい面上に設けた段の部分が切削にあず



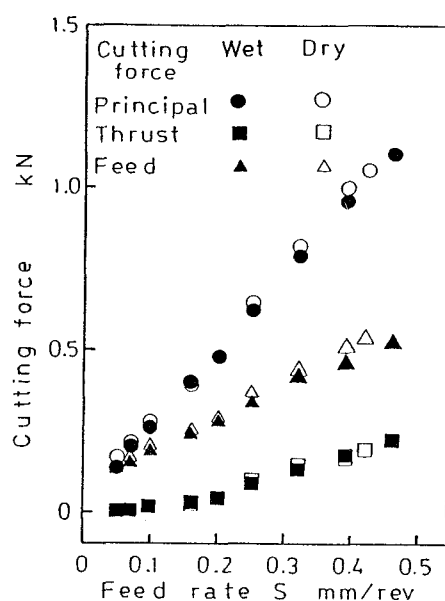
Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s

図 5-7 仕上げ面粗さと送りの関係



(a)

Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Depth of cut : 0.5mm



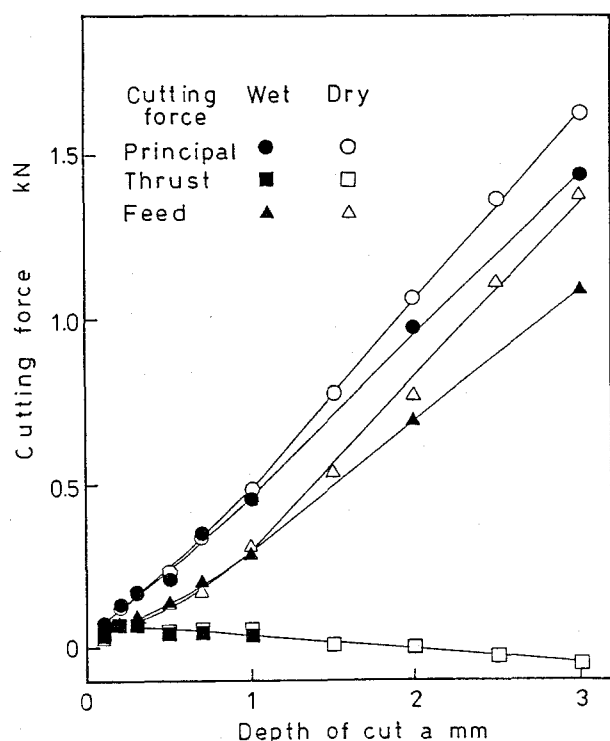
(b)

Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Depth of cut : 1.0mm

図 5-8 切削抵抗と送りの関係

かる、切込み 1.0mm の場合には 3 分力とも、乾式切削の場合との差が認められない。これらの結果から、切込みをさらに大きくすると乾式切削の場合よりも湿式切削の場合のほうが切削抵抗が小さくなることが推察される。

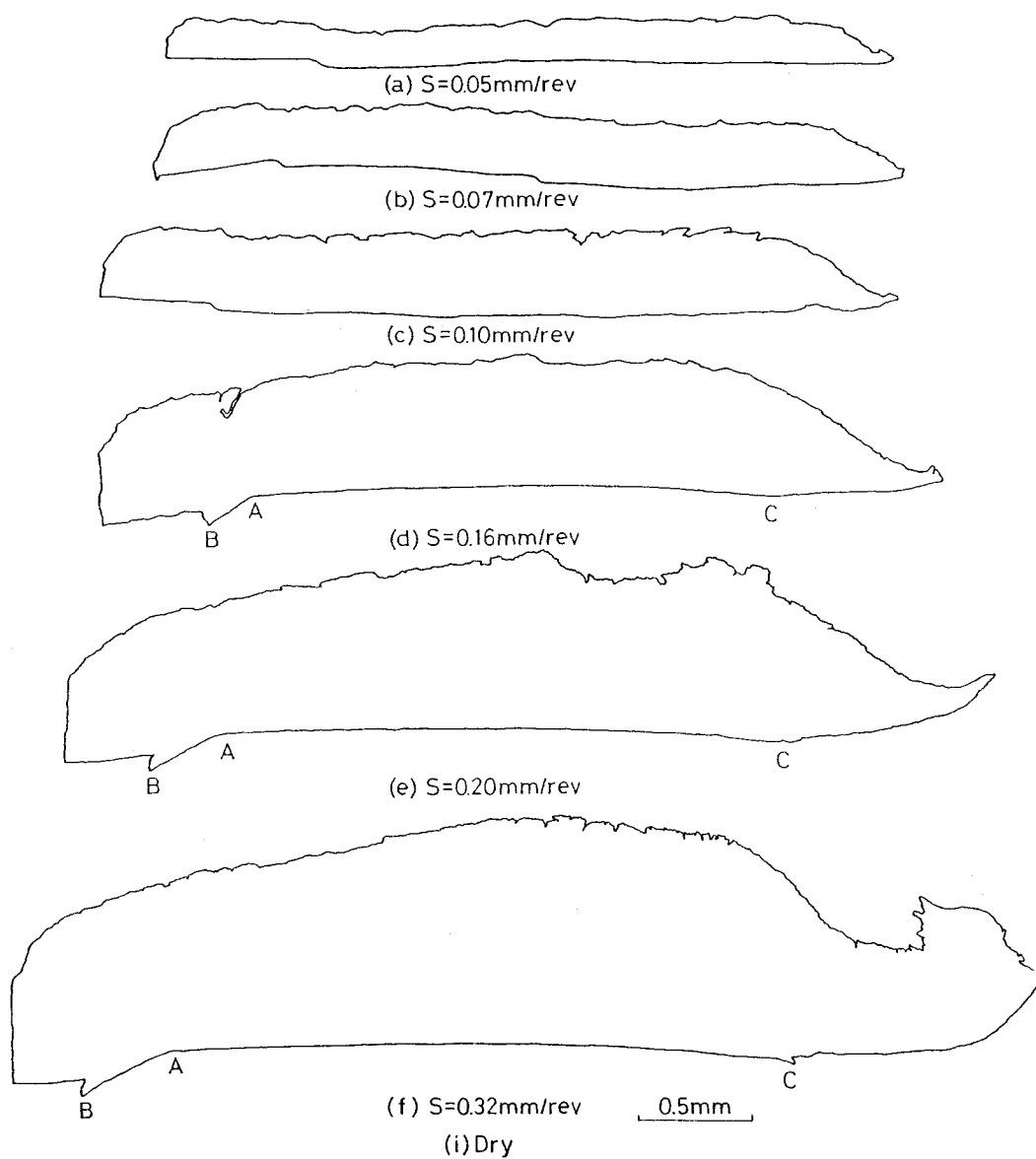
図 5-9 は送りを 0.20mm/rev と一定にして切込みを変化させた場合の切削抵抗を示したものである。切込みが大きくなるにつれて湿式切削のときの切削抵抗の主分力、送り分力は乾式切削のときよりも小さくなり、両者の差は切込みの増加につれて大きくなっている。これは次のような理由によ



Work material : SS41,
 Cutting speed : 3.0m/s,
 Feed rate : 0.20mm/rev

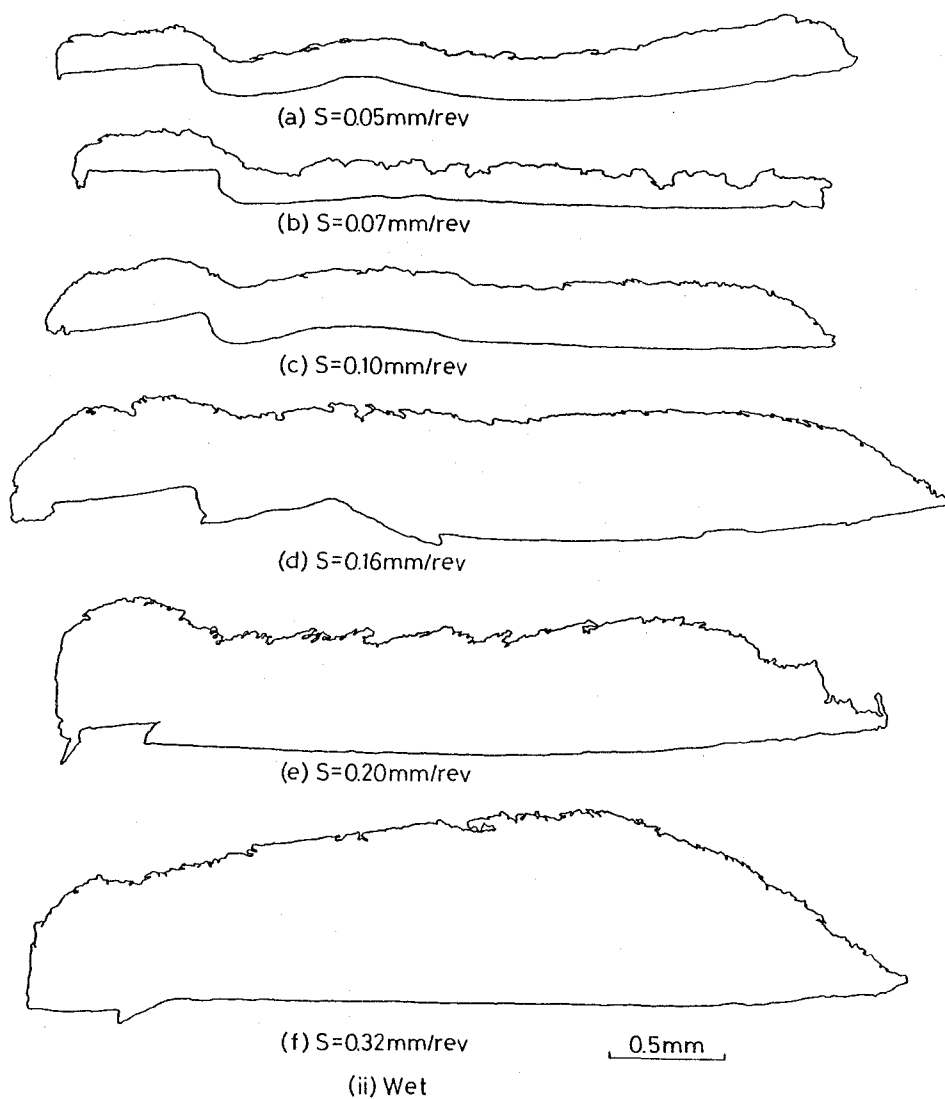
図5-9 切削抵抗と切込みの関係

と思われる．図5-10に示す切込み 3.0mmの場合の切りくず断面形状の比較から推察されるように，すくい面に設けた段によって切りくず生成時に転写される段が，湿式切削の場合には送り0.20mm/revまで残っており，0.25mm/revでブレーカ壁で受ける変形のため消失している．乾式切削ではこれがそれぞれ0.10mm/rev，0.16mm/revである．このように，(a)切込みが大きい場合にはブレーカ壁で受ける変形の度合は湿式切削のほうが小さい．一方 (b)冷却による切削温度の低下のため変形抵抗は増大する．この



Work material : SS41,
 Cutting speed : 3.0m/s,
 Depth of cut : 3.0mm

図 5 - 1 0 切りくず断面形状



Work material : SS41,
 Cutting speed : 3.0m/s,
 Depth of cut : 3.0mm

図 5 - 1 0 切りくず断面形状

二つの効果が重なり、切込みが小さい場合にはブレード力壁で受ける力が小さいため (b) の効果が大きく影響して湿式切削のほうが切削抵抗が大きく、切込みが大きい場合には (a) の効果が大きく影響して湿式切削のほうが切削抵抗が小さい。

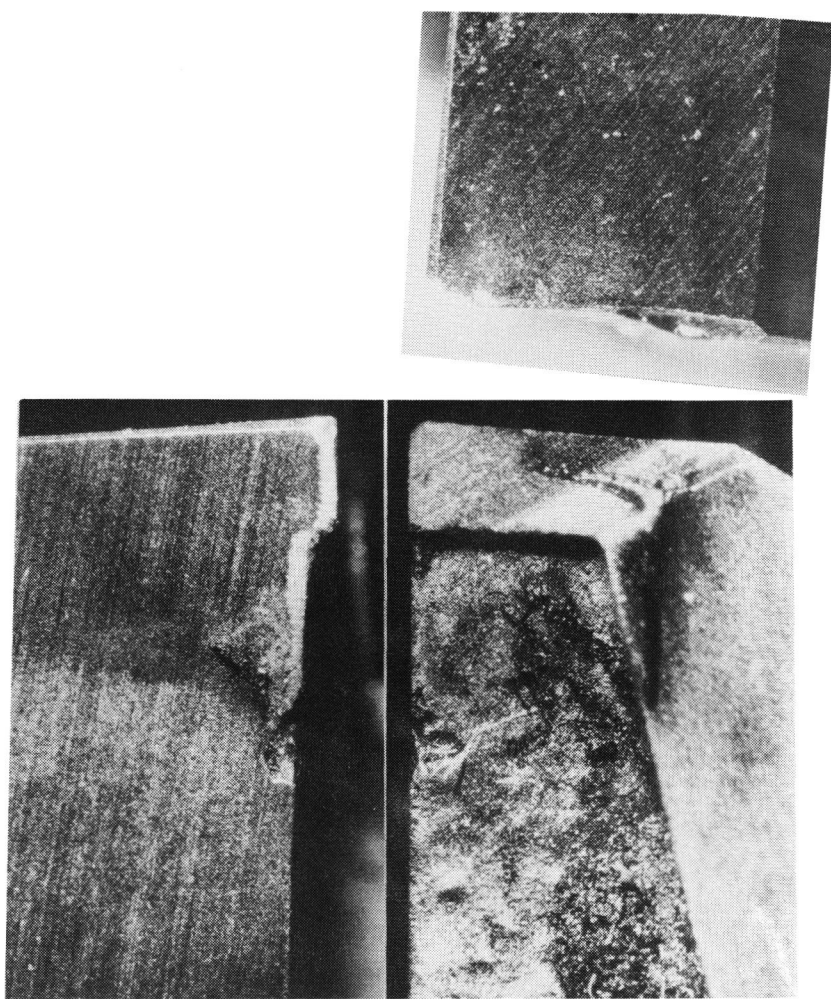
5. 3. 2 切削の進行に伴う性能変化

乾式切削の場合に、切削の進行に伴う工具損傷と性能の変化については 4.2 節で述べたが、本節では湿式切削の場合について同種のことを調べた。なおこのときの切削速度は 2.5m/s とし、一部 4.17m/s とした。

i) 工具損傷

SS41 を切削速度 2.5m/s 、切込み 1.0mm 、送り 0.32mm/rev で切削した場合の工具の状態を図 5-11 に示す。乾式切削の場合 (図 4-6) は、主逃げ面の摩耗がおもな損傷であるが、湿式切削の場合、主逃げ面の摩耗に関しては乾式切削の場合とほとんど同じでありまた副逃げ面も同程度に摩耗している。湿式切削の場合にはさらに主逃げ面の切込み境界部で欠損を生じている。これは切削油剤で冷却することにより工具内の温度勾配を急にしたために、大きな熱応力が生じ、工具の欠損を引き起こしたと考えられる。しかしながら乾式切削の場合に認められたコーナ部の塑性変形による沈下は生じていない。

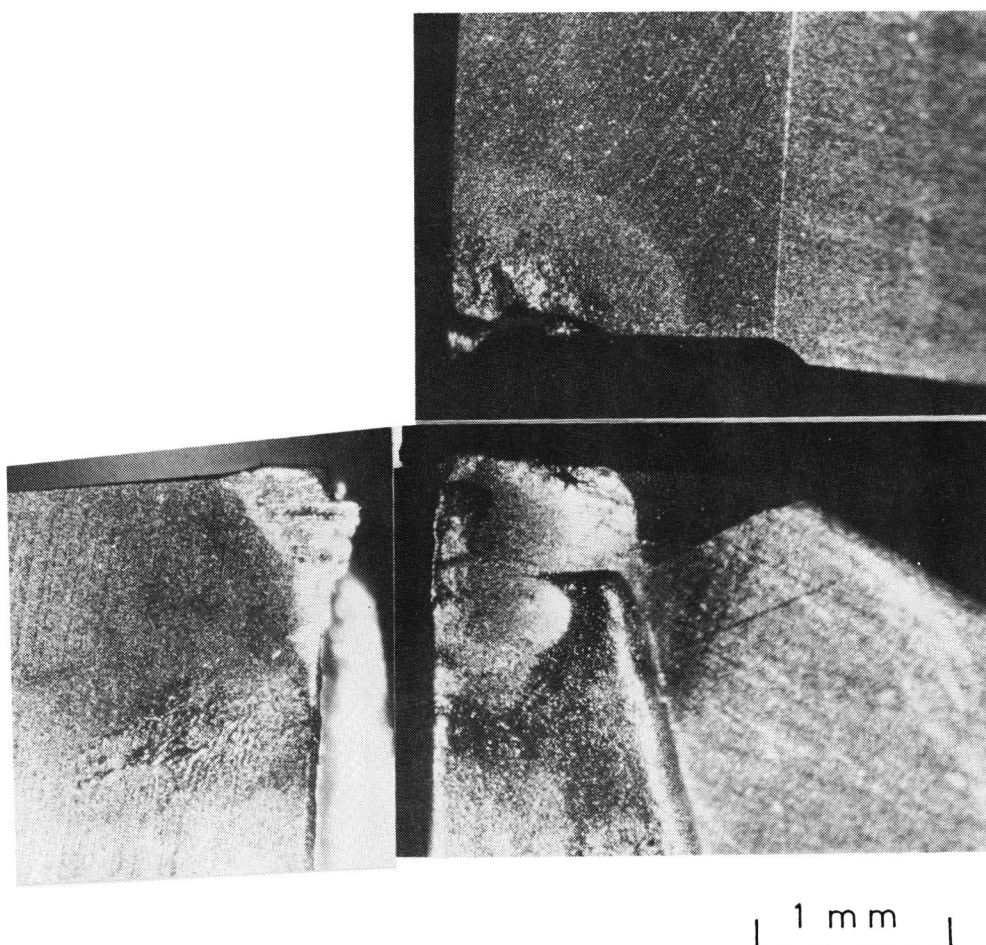
SCM440 を切削速度 2.5m/s 、切込み 1.0mm 、送り 0.32mm/rev で切削した場合の工具の状態を図 5-12 に示す。乾式切削の場合、コーナ部の塑性変形による沈下が大きく生じた。湿式切削することにより、コーナ部の沈下が緩



1 mm

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev,
Cutting length : 1.9km,
Cutting method : Wet

図 5 - 1 1 切削距離の増大に伴う工具摩耗状態の変化



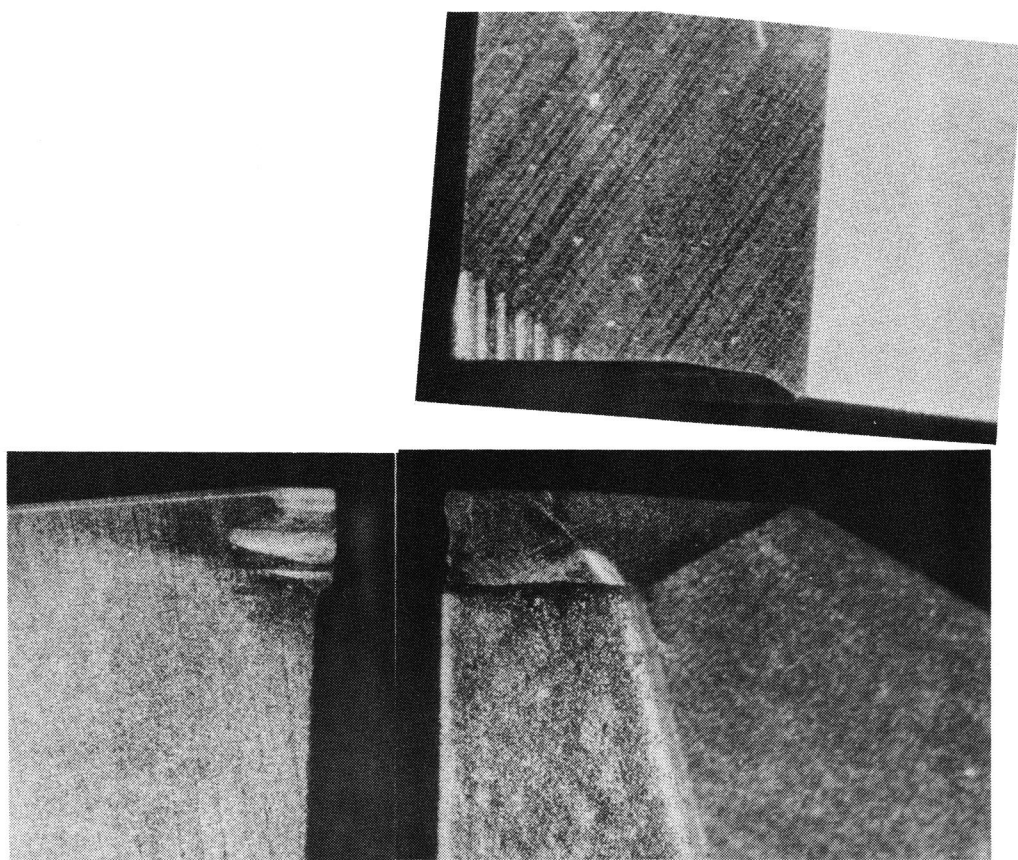
Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev,
Cutting length : 2.0km,
Cutting method : Wet

图 5 - 1 2 工具磨损状态

和されているようであるが、やはりコーナ部の沈下は生じている。従って、SCM440をこのような切削条件（切込みと送り，切削速度）で切削する場合，湿式切削とするだけでは塑性変形の防止には不十分であると言える。この場合，工具はコーナ部の沈下のほかに構成刃先の発生，クレータ摩耗の成長および副切れ刃部の欠損が生じている。しかし，切込み境界部の欠損は生じていない。

SS41を切削速度2.5m/s，切込み0.3 mm，送り0.10mm/revで切削した場合の工具の状態を図5-13に示す。乾式切削では主逃げ面の境界摩耗が非常に大きく成長し，主逃げ面，副逃げ面の摩耗は相対的には軽微であった。湿式切削の場合には，主逃げ面の境界摩耗が最大であることは同じであるが，主逃げ面，副逃げ面の摩耗がかなり大きく，相対的に無視し得ない大きさに成長している。特に副逃げ面の摩耗には，切込み 1.0mm，送り0.32mm/revの場合には認められなかった送りマークが明瞭に認められる。

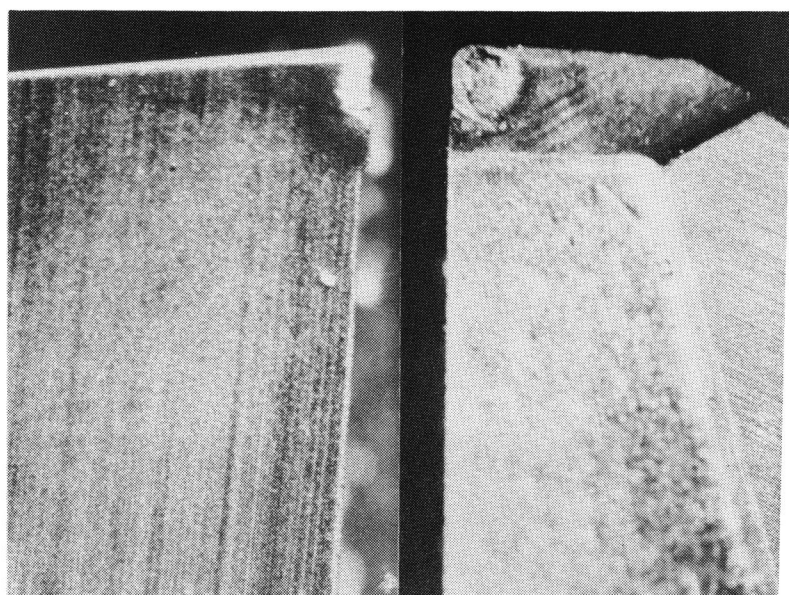
SCM440を切削速度2.5m/s，切込み0.3mm，送り0.10mm/revで切削した場合の工具の状態を図5-14に示す。この場合，コーナ部の塑性変形は認められない。逃げ面の摩耗とすくい面のクレータ摩耗が生じているが他の損傷は無く，切込み 1.0mm，送り0.32mm/revの場合と比べると工具の損傷は軽微である。



1 mm

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev,
Cutting length : 6.4km,
Cutting method : Wet

图 5 - 1 3 工具磨损状态



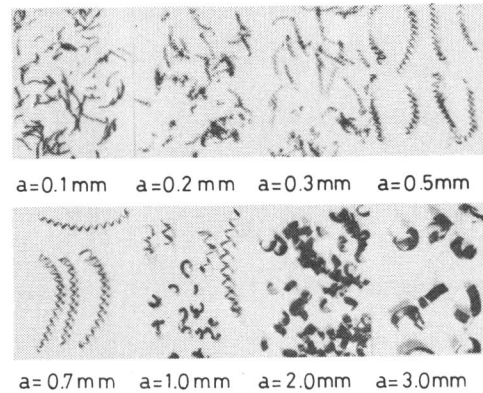
Work material : SCM440, 1 mm
 Cutting speed : 2.5m/s,
 Depth of cut : 0.3mm,
 Feed rate : 0.10mm/rev,
 Cutting length : 6.4km,
 Cutting method : Wet

図5-14 工具摩耗状態

ii) 切りくず折断性能

工具の損傷は前項で示した形態となるが、SS41の場合、切込み 1.0mm，送り0.32mm /rev で 3km，切込み 0.5 mm，送り0.16mm /rev で10km，切込み 0.3 mm，送り0.10mm /rev で12kmまで，またSCM440の場合，上記の切削条件でそれぞれ 2.8km ，12km，14kmまで切削を続行したが，切りくず形態にはほとんど変化なく折断された．また切込み 3.0mm，送り0.07mm

/revで1 km切削するごとに切込みを0.5 mmに変え，切りくずが折断されるかどうかを調べた．その結果切込み 3.0mm，送り0.07mm/revで合計 6.2km切削後においても同じ送りであれば切込みを0.5 mmとしても切りくずは折断された．6.2km切削後，切込みを種々変えて



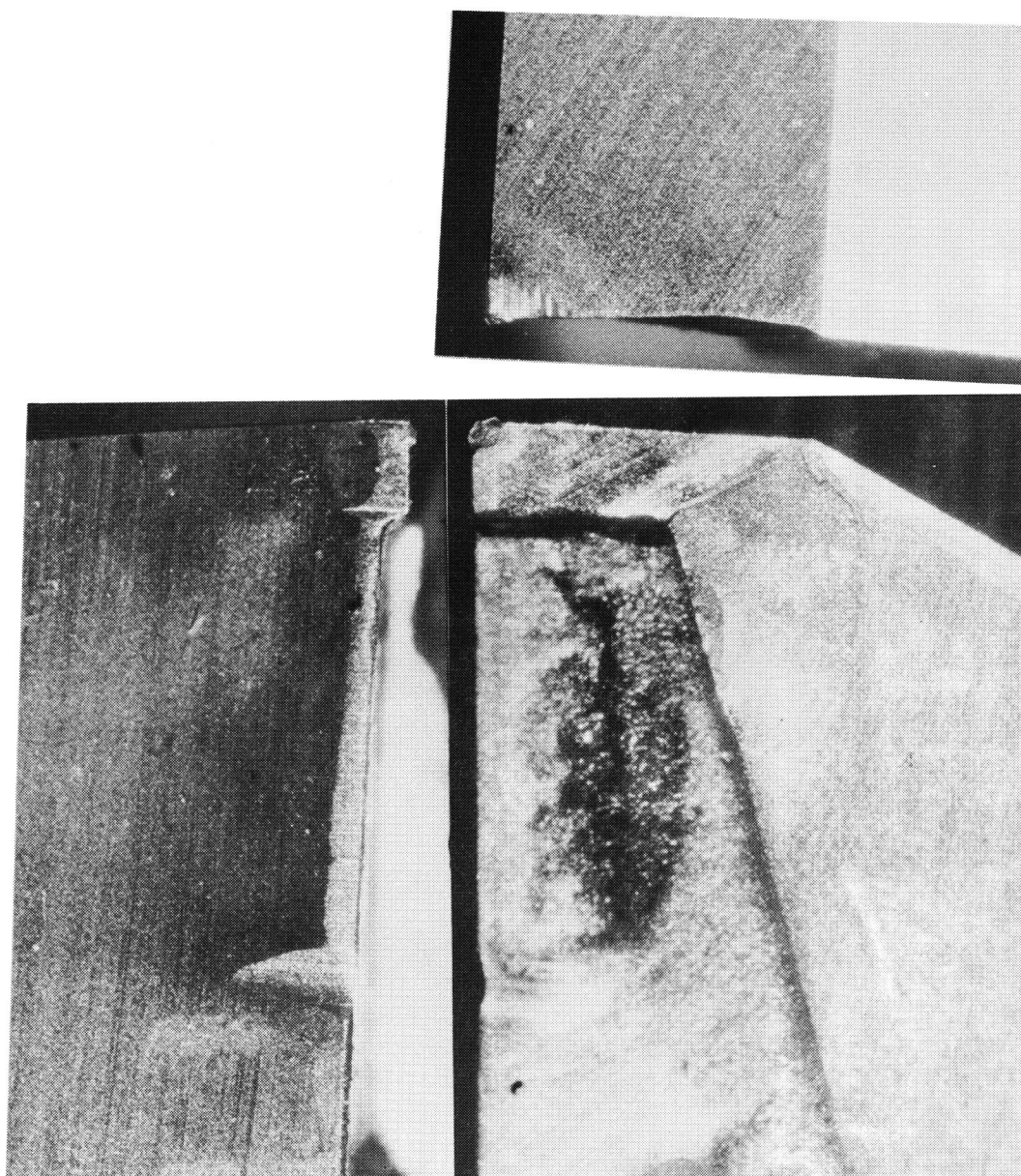
Work material : SS41, 20mm
 Cutting speed : 2.5m/s,
 Depth of cut : 0.1 ~ 3.0 mm,
 Feed rate : 0.07mm/rev,
 Cutting method : Wet

図5-15 6.2km切削後の折断性能

得られた切りくずを図5-15に示す．図 5-1と比較すると，工具摩耗が生じていない状態の切りくず形態と異なるのは切込み1.0mm と0.7 mmの場合で，他は同形状である．このように切込みによっては切りくず形態が若干変化するが，切削距離 6.2km切削後においても種々の切込みで切りくずは折断される．

以上の実験後の工具の状態を図5-16に示す．摩耗の特徴は図5-13と同様である．

上述のように実験を行った条件においては，工具の摩耗がある程度進行しても切りくず折断性能は保持されと言える．



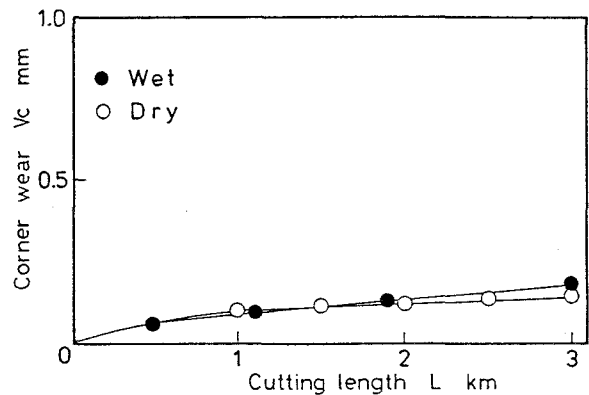
Work material : SS41,
 Cutting speed : 2.5m/s,
 Depth of cut : 3.0mm (0.5mm),
 Feed rate : 0.07mm/rev,
 Cutting method : Wet

1 mm

図 5 - 1 6 6.2km切削後の工具摩耗状態

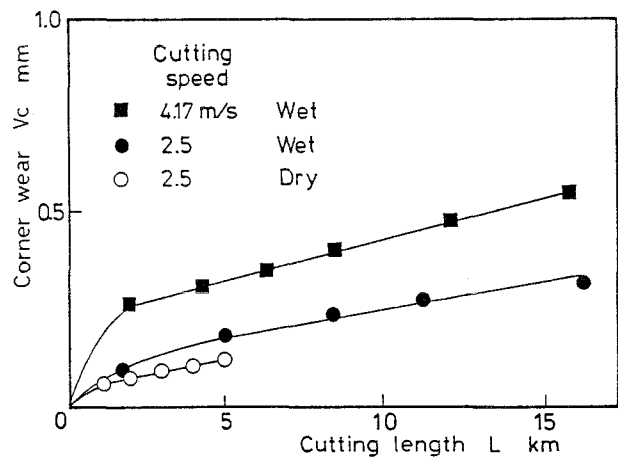
iii) 仕上げ面粗さと摩耗幅

乾式切削の場合と同様、仕上げ面粗さに直接影響すると考えられるコーナ部の摩耗幅と仕上げ面粗さの経過を調べた。SS41の場合の結果を図5-17、5-18にそれぞれ示す。図5-17(a)、5-18(a)に示すように、切込み1.0 mm、送り0.32mm/revの場合、コーナ摩耗も仕上げ面粗さもともに乾式切削の場合との差は認められない。しかしながら図5-17(b)、5-18(b)に示すように切込み0.3 mm送り0.10 mm/revの場合には、同じ切削速度で乾式切削の場合よりも摩耗の進行がやや大きく、それにもかかわらず仕上げ面粗さは平坦な経過で



(a)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev



(b)

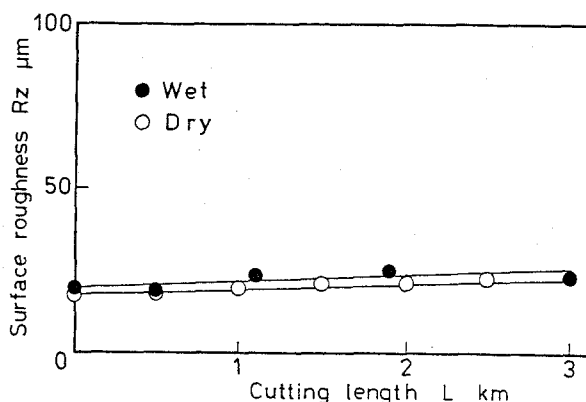
Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s, 4.17m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev

図5-17 切削距離の増大に伴う
コーナ摩耗幅の変化

良好となっている。これは副切れ刃の摩耗形態の違いによる。湿式切削の場合、副切れ刃は平らに摩耗しており、摩耗部がコレソフバイトのような作用をしているものと思われる。またこの切込みと送りの組合せでは、切削速度を4.17m/sとしても、摩耗と仕上げ面粗さの点からは性能低下はない。（図 5-6より切りくず折断性能も同様である。）

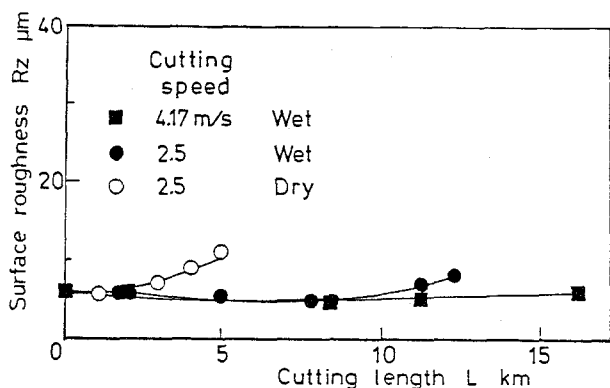
SCM440を切込み0.3 mm, 送り0.10mm/revで切削した場合の結果を図5-19,

5-20に示す。コーナ摩耗は乾式切削の場合よりも軽減され、仕上げ面粗さはSS41の場合と同様、切削距離が増大してもわずかの増大し



(a)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 1.0mm,
Feed rate : 0.32mm/rev

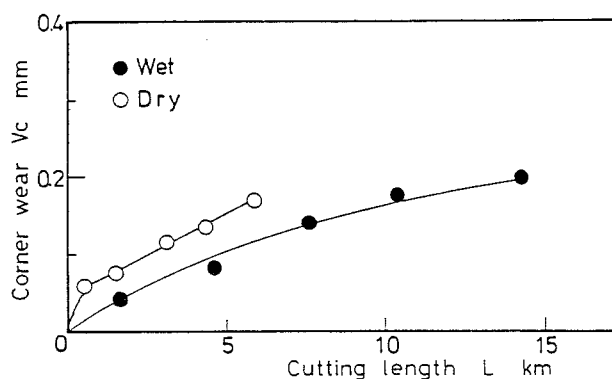


(b)

Work material : SS41,
Cutting speed : 2.5m/s, 4.17m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev

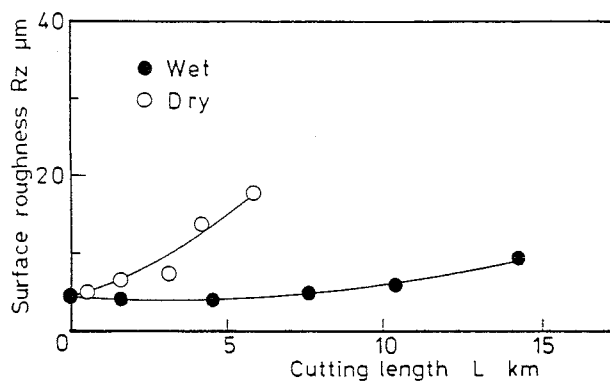
図5-18 切削距離の増大に伴う

仕上げ面粗さの変化



Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev

図 5 - 1 9 切削距離の増大に伴うコーナ摩耗幅の変化



Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.5m/s,
Depth of cut : 0.3mm,
Feed rate : 0.10mm/rev

図 5 - 2 0 切削距離の増大に伴う仕上げ面粗さの変化

か示さず，乾式切削における初期の切削時の仕上げ面粗さのレベルである．

5. 4 結 言

本章では前章で検討を加えた乾式切削における切削性能に対し，エマルジョン型水溶性切削油剤を用いた湿式切削における切削性能を調べた．

得られたおもな結論は次のとおりである．

- (1) 切込みが大きく，送りが小さい条件では切りくず折断性能が向上する．しかし用いられることの少い切込みが小さく，送りの大きい条件では，連続形切りくずとなる領域が広がる．

なお，SUS304の場合，乾式切削では切りくずが折断される切込み1.0mm以下の送りの小さい条件で連続切りくずを生じた．

- (2) 切込みが大きく，送りの小さい条件では，乾式切削におけるよりも仕上げ面粗さが悪くなる．

- (3) 切削抵抗の主分力，送り分力は切込みの小さいところでは乾式切削の場合よりも若干大きい，切込みが大きくなると逆転し，若干小さくなる．

- (4) 実験を行った数条件においては切削距離が10kmを越しても切りくず折断性能は保持され，仕上げ面粗さはほとんど低下しない．

- (5) 湿式切削とすることによりコーナ部の塑性変形が緩和される．

参考文献

- 1) 白井英治：切削研削加工学 上 一切削加工，共立出版，東京，(1977)，220．

- 2) 白井英治, 水原和行: 切削加工の潤滑 — 切削機構と切削油剤の作用 —, 潤滑, 25, 3 (1980) 136.
- 3) B.K.Nagpal, C.S.Sharma: Cutting Fluids Performance Part 1 — Optimization of Pressure for "Hi-Jet" Method of Cutting Fluid Application, Trans. ASME, Ser. B, 95, 3 (1973) 881.

第6章 切りくず折断機構

6.1 緒 言

第3章においてはSS41切削時の切削状態の観察をもとに本チップブレード力による切りくず折断の状態を詳細に説明した。しかしながら，SS41以外の鋼の場合，さらに湿式切削とした場合にはSS41の乾式切削の場合とは異なった形状の切りくずも生じており，第3章で明らかにした切りくず折断様式とは異なる様式の存在が考えられる。そこで本章では，実験を行った5種類の鋼の乾式切削および2種類の鋼の湿式切削を通しての切りくず折断プロセスを明らかにするとともに，本チップブレード力各部の作用について検討を加え，本チップブレード力による切りくず折断機構を明らかにした。

6.2 切りくず折断様式の分類およびその発生領域

6.2.1 実験方法

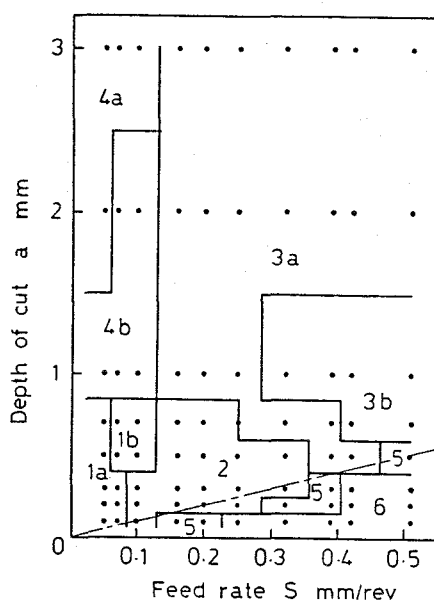
第3章において，SS41について高速度カメラの助けを借りて切りくず流出状態の詳細な観察を行い，これをもとにして切りくず折断様式を分類し，各々の様式における切りくずの折れ方を明らかにするとともに，切込み一送り平面上でその発生領域を定めた。本章においては第3章での観察結果をもとにSS41以外の鋼の場合に得られた切りくず形状ならびに切りくず断面形状をSS41の切りくずのそれと比較するとともに目視観察により，切りくず折断様式を定めた。その際，SS41の乾式切削で認められる折断様式に

ない折断様式の場合には、モータドライブカメラによって写真撮影を行い、必要な時点での切りくず流出状態を調べた。湿式切削においては切削部の観察ができないため、全面的に切りくずおよびその断面の形状からの判断によった。湿式切削において得られた切りくずは、実験に用いた5種類の鋼の乾式切削において得られた切りくず形状と大きく異なるものはなかった。なお、本章で検討を加えた被削材は乾式切削においては切りくず折断様式についてすでに第3章

で記述したSS41およびSCM440, S55C, SUS304, SK5 の5種類、湿式切削においてはSS41, SCM440の2種類である。

6.2.2 切りくず折断様式およびその発生領域

切削速度3.0m/sでSS41を乾式切削した場合の切りくず折断様式は6タイプに分類された。切込み－送り平面上でこれらのタイプの発生領域を示したものが図6



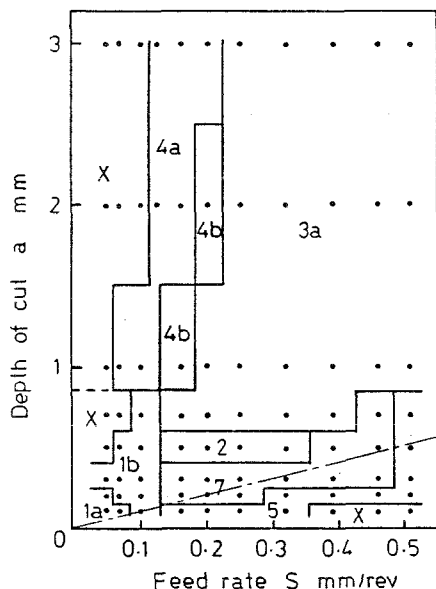
Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Cutting method : Dry

図6-1 S-a平面上での切りくず折断タイプの領域

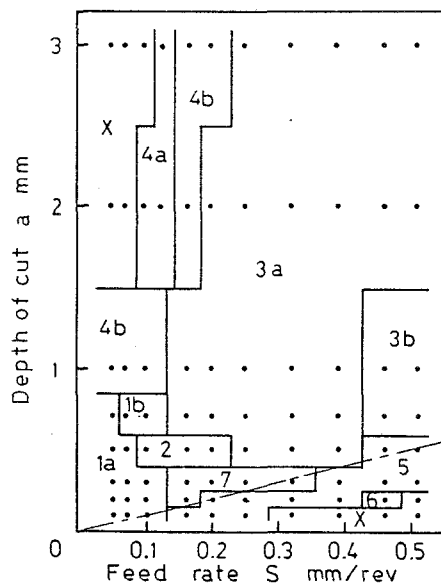
-1である。図 6-2～ 6-5は被削材SCM440, S55C, SUS304 ,SK5 を乾式切削した場合の、また図 6-6, 6-7はSS41, SCM440を湿式切削した場合の同様の図である。これらの図においてタイプ1～6は図 3-2～ 3-7に示したプロセスで折断されるもので、これらを図 6-8～6-13に再度示す。

タイプ7の切りくず折断プロセスは次のようになっている。

タイプ7：このタイプの折れ方はタイプ2とともにタイプ3とタイプ5の間に位置する。切りくずの成長と折断プロセスを示す図6-14からわかる



Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.2m/s,
Cutting method : Dry



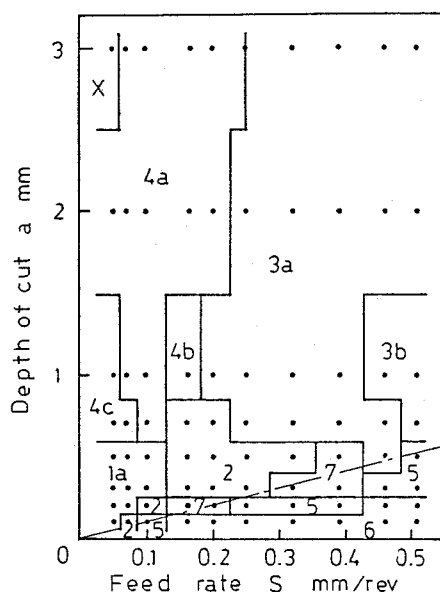
Work material : S55C,
Cutting speed : 2.5m/s,
Cutting method : Dry

図 6-2 S-a平面上での切り

くず折断タイプの領域

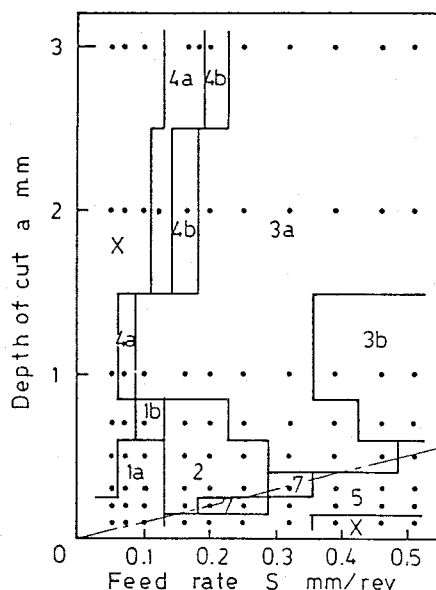
図 6-3 S-a平面上での切り

くず折断タイプの領域



Work material : SUS304,
Cutting speed : 3.0m/s,
Cutting method : Dry

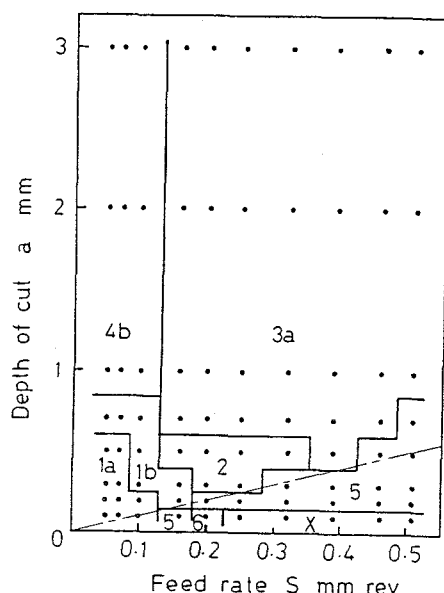
図6-4 S-a平面上での切りくず折断タイプの領域



Work material : SK5,
Cutting speed : 2.2m/s,
Cutting method : Dry

図6-5 S-a平面上での切りくず折断タイプの領域

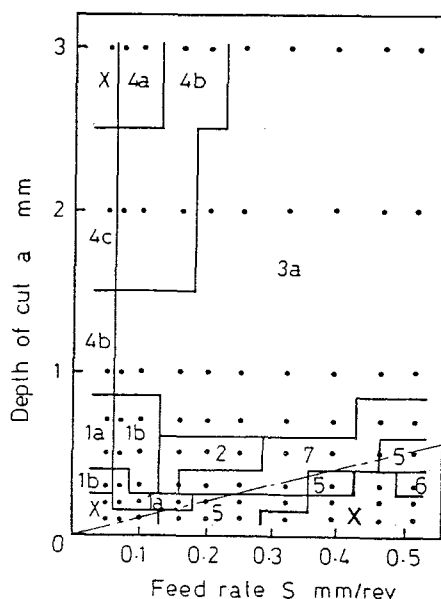
ように、ラセンの成長がまだ小さい間は、すくい面上での切りくず流出状態がタイプ2と同じである。タイプ7においてはタイプ2と異なり、切りくずの先端が被削材に当たっても切りくずは切れ刃部で折れ曲らず、被削材と工具主逃げ面で囲まれる空間でラセンが成長する【図 6-14(a)】。このときタイプ1aと同じく被削材とラセンとは接触しており、被削材は摩擦力によつて下向きに力を受けている。このラセン形の切りくずは被削材外周のみならず、工具主逃げ面からも力を受けている。ラセンが5巻程度に成



Work material : SS41,
Cutting speed : 3.0m/s,
Cutting method : Wet

図 6-6 S-a 平面上での切り

くず折断タイプの領域



Work material : SCM440,
Cutting speed : 2.2m/s,
Cutting method : Wet

図 6-7 S-a 平面上での切り

くず折断タイプの領域

長すると被削材外周との摩擦力（せん断領域からラセン 1 巻分の位置で作用）のためラセンが横振動を起こし〔図6-14(b)〕，ラセンが水平位置近くまで上ると図 6-14(c)に見られるように，ラセンが切れ刃部をすべり上って弾性エネルギーが解放される．その結果，このときの切りくずラセンは径が大きくなるとともに切りくずの流出方向が不連続的に変わり，せん断領域付近で損傷を受け，切れ刃部をすべり上った運動エネルギーにより飛散する．切りくずラセンの振動がやや弱く，損傷を受けた部分（図中の P）で

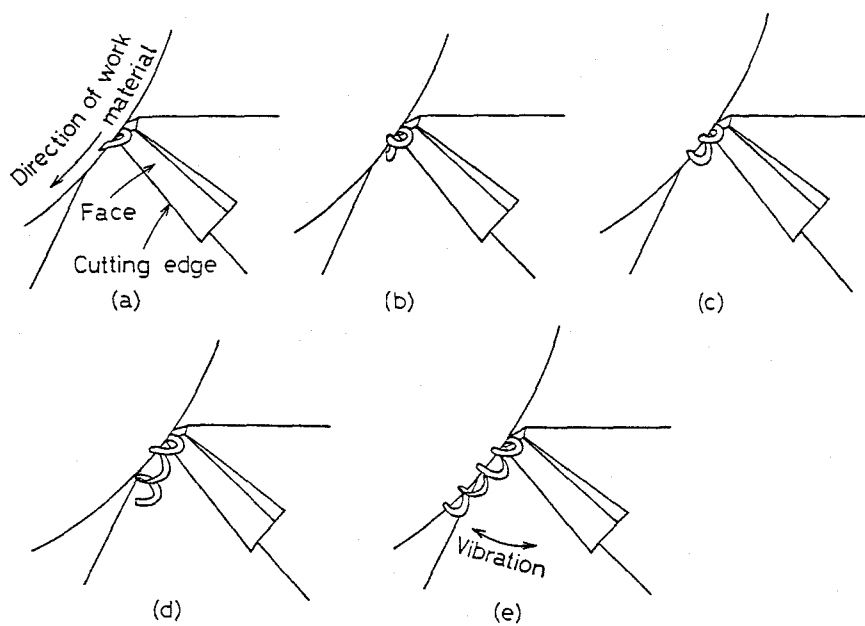


図 6-8 切りくず折断タイプ 1

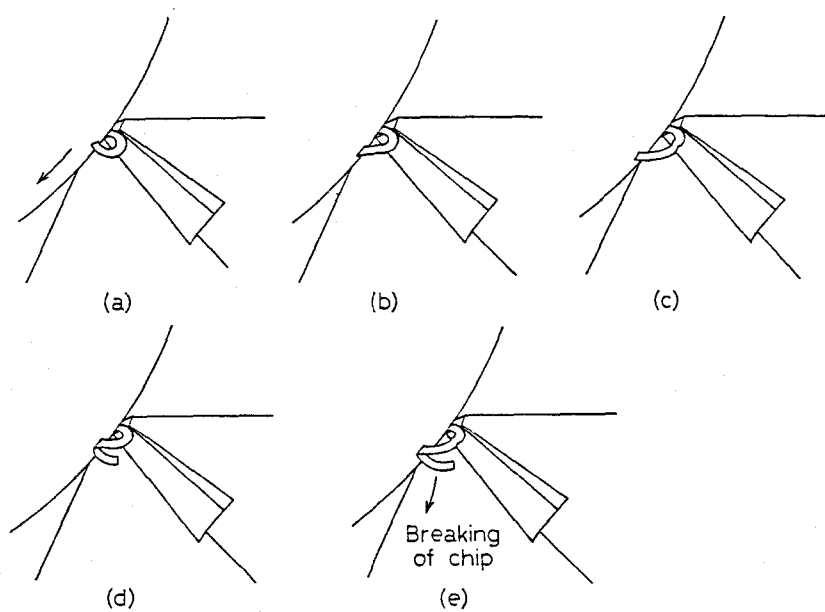


図 6-9 切りくず折断タイプ 2

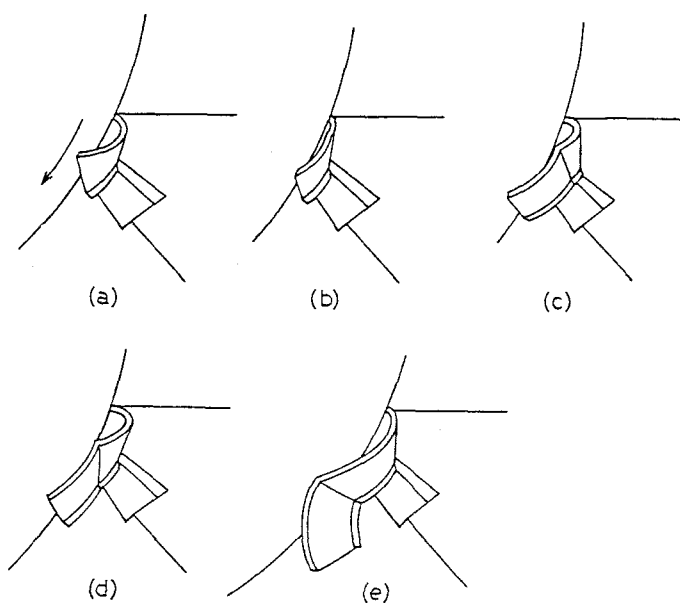


図 6-10 切りくず折断タイプ 3

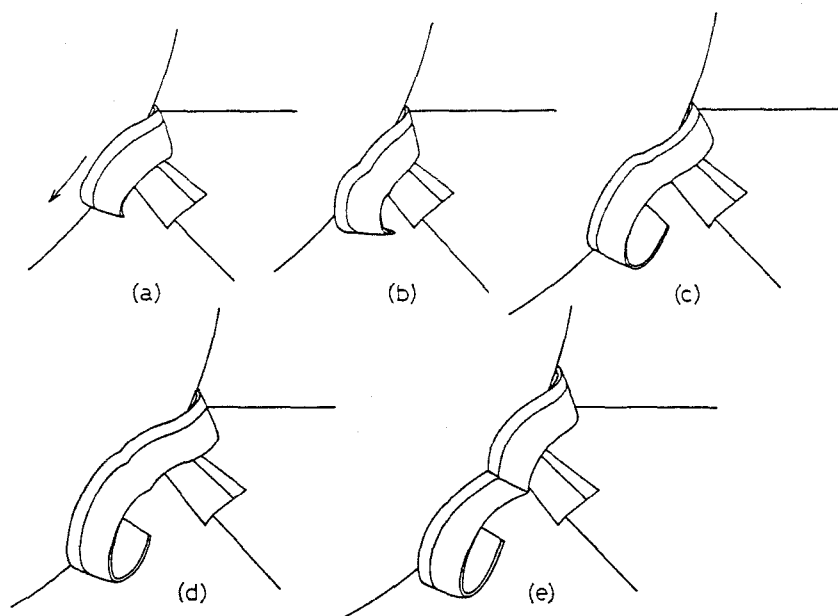


図 6-11 切りくず折断タイプ 4

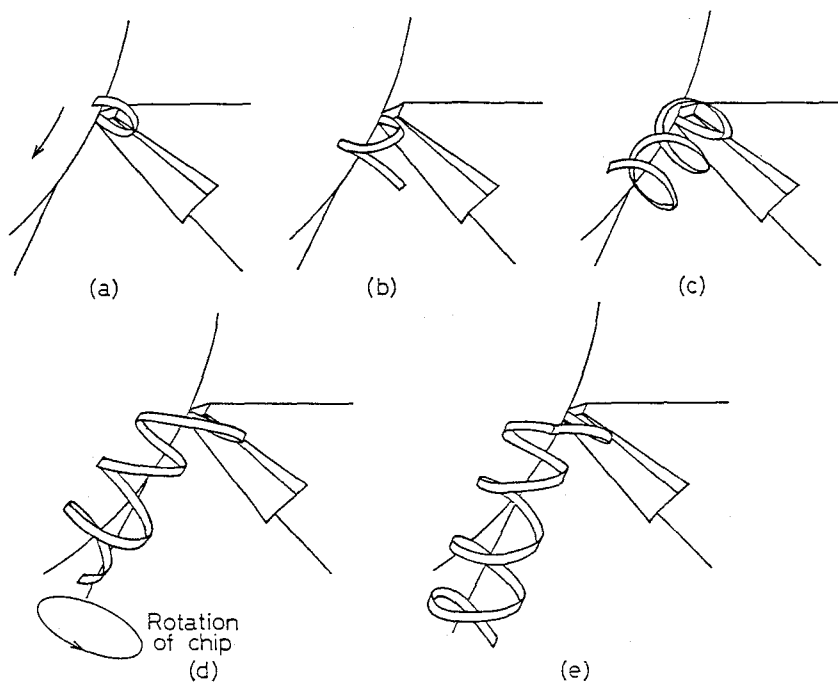


図 6-12 切りくず折断タイプ 5

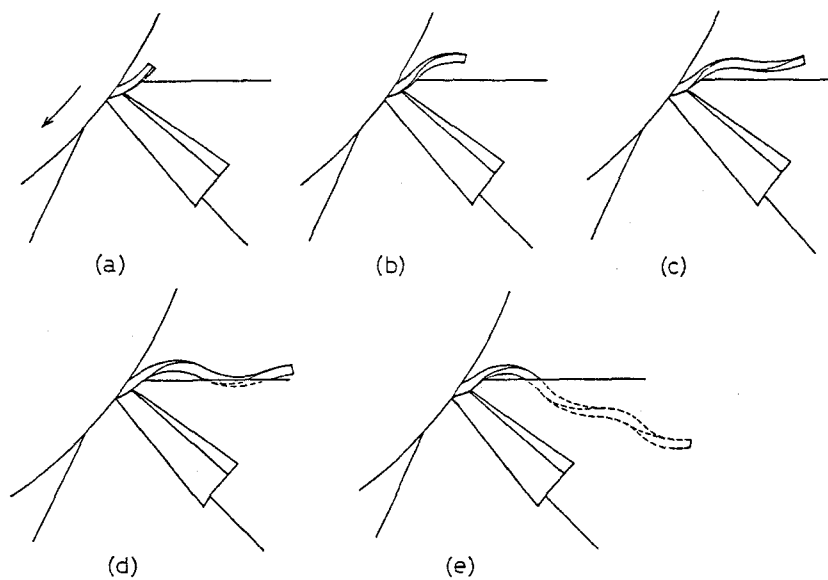


図 6-13 切りくず折断タイプ 6

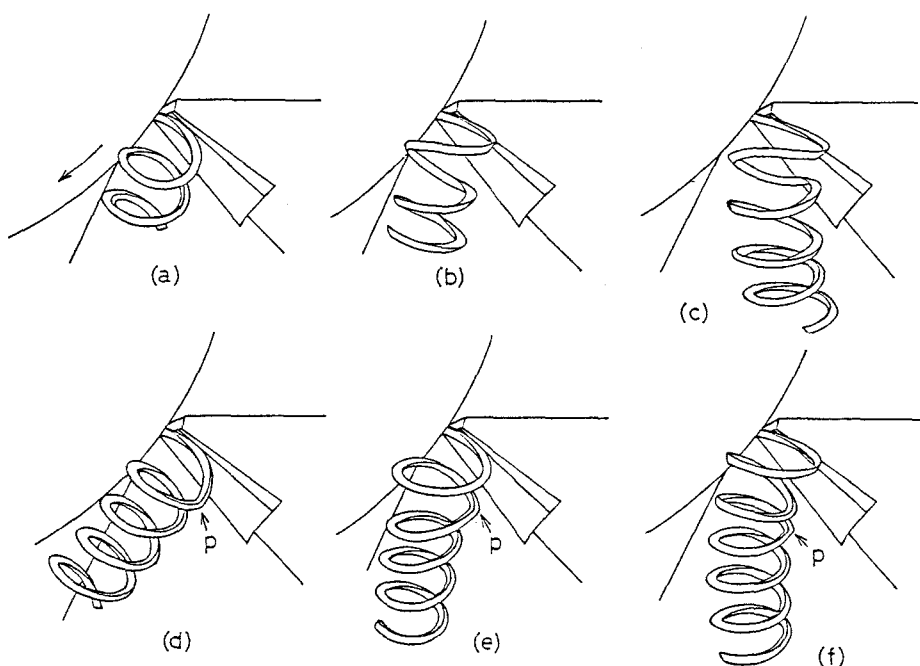


図 6-14 切りくず折断タイプ 7

切りくず破断が生じなければ、ラセンが曲った状態で後続の切りくずが再びすくい面上で図 6-14(a)に示すのと同じ方向に流出するため、ラセンは円錐面を描いて被削材の方向へ旋回し、被削材に当る〔図 6-14(d)〕。このときにも破断しうる。このとき破断しなければ、切りくずラセンは摩擦力で下方への運動を与えられ、ラセンが成長しながら主逃げ面方向へ移動し、当ることになる。このときに損傷を受けた部分で破断が起こる〔図 6-14(e)〕。このときになお破断しなければ、せん断領域からラセンの一巻

目の、被削材に接触している部分で上述のように摩擦力が生じ、ラセンを振動させる。このときにも損傷を受けた部分で破断が起こりうる〔図 6-1 4(f)〕。破断している切りくずラセンの長さから判断すると、このタイプの折断様式では、上述のいずれかの時点で切りくずは破断すると考えられる。またタイプ4cは流出した切りくずの先端がすくい面より下に行かず、すくい面上でラセンを形成したもので5～7巻になって先端が主逃げ面に引っかかり、タイプ4bの場合と同様の位置で湾曲の外側へ折れ曲って折断される。

実験に用いた5種類の被削材の乾式切削およびSS41とSCM440の湿式切削においては、実験を行った切削速度から大幅に異ならない限り、以上述べた7つの様式のいずれかで切りくずが折断され则认为られる。なお、切込みと送りのいずれかが非常に小さい場合には切りくずが連続する。したがって、切りくずの形態としては上記7種に連続形が加わる。

切りくず形状と折断箇所から判断すると以上の7タイプの折断様式のうち曲げによって折断されるのはタイプ2とタイプ3であり、一部引き裂き状態を含む曲げによる折断がタイプ4である。また、ラセン形の切りくずの場合には曲げとせん断が重なって折断されていると认为られる。被削材によって同一折断様式の発生領域が若干異なるが、機械的性質との関連については明確でない。SS41およびSCM440を湿式切削すると切削温度が下るため

(i) サイドフローの程度が低下し、その結果横向きカールのカール半径

が大きくなる。

(ii)また、上向きカールのカール半径は小さくなる。

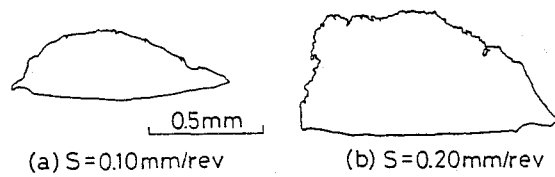
(ii)の理由により切込みが大きく、送りの小さい領域では切りくずが折断されやすくなる。また、(i)と(ii)より、切込みにくらべ送りが大きい領域では左ラセンとなる領域が狭くなり、上向きにカールする領域が広くなる。図 6-6、6-7においてタイプ6が狭くなり、タイプ5が広がっているが、切りくずが折断されない領域内でも上向きカールが多い。この場合、手まり状に成長するため、分類上は連続形であるが、実質的には不連続形の切りくずと同じである。

6. 3 チップブレード各部の作用

以上述べた切りくず折断様式に対するチップブレード各部の作用について考察する。

6. 3. 1 微小面取りコーナとブレード壁

本チップブレード付バイトはC 0.01~0.02mmの面取りコーナとしているので、コーナ半径零のバイト¹⁾と同じく、切込みが小さい場合に切取り厚さが小さくならず、切りくずを横向きにカールさせ、タイプ1やタイプ2のように切りくずが折断される。横向きにカールした切りくずがブレード壁と強く接触しなければ、図 6-15(a)に一例を示すように何ら特異な断面形状を示さない。横向きにカールした切りくずがブレード壁と強く接触するのは、ブレード壁に拘束されてカール半径が大きくなれない場合である。図 6-15(b)はこのような場合に得られた切りくず断面の一例で、タイプ2



Work material : SS41,
 Cutting speed : 3.0m/s ,
 Depth of cut : 0.5mm ,
 Cutting method: Dry

図 6 - 1 5 切りくず断面形状

の折断様式となる切削条件では、切りくずはこのような変形を受けているものが多い。図からわかるように副切れ刃側の端が圧縮されている。このことは次のような作用にもなっている。すなわち、横向きにカールした切りくずの先端が被削材に当って、カール半径を拡大させるときブレーカ壁で拘束されているため被削材を押付ける力が大きくなる。その結果、摩擦力も大きくなり、切りくずが切れ刃部で折れ曲る現象を生じやすくしているものと考えられ、タイプ 2 の折断様式となるためにもブレーカ壁が有効に作用していることになる。

6. 3. 2 すくい面に設けた段およびブレーカ壁

本チップブレーカの場合、図 3-1, 4-1 に示したようにすくい面に、主切れ刃に垂直な段（段差 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ ）があるため、切込みが大きくなってこの段が切削にあずかるようになると、切りくずのすくい面側に段が転

写され，図5- 3に示すように幅方向に段の付いた切りくずが生じる．このような幅方向に段の付いた切りくずがブレーカ壁に接触して曲げられる場合，段のない切りくずに比べ，切りくず断面の最小断面二次モーメント（塑性的に曲げる場合にも同様の断面形状の特性値が存在する．）が大きくなるが，逆に同じ曲率に曲げられると，中立軸から最外層までの距離が大きいため，最外層でのひずみは大きくなる．この結果はすでに報告されている曲面すくい面を持つバイト²⁾と同じである．切りくずの厚さが厚くなればこのような効果は不要である．表 6-1に例示するように，本チップ

表 6 - 1 切りくず上に転写される段の有無

		Cutting speed m/s	Depth of cut mm	Feed rate mm/rev				
				0.05	0.07	0.10	0.16	0.20
D r y	SS41	3.0	3	○	○	△	×	
	SCM440	2.2		○	○	○	○	○
	SUS304	3.0		○	○	○	○	○
	S55C	2.5		○	○	○	○	○
	SK5	2.2		○	○	○	△	×
W e t	SS41	3.0	3	○	○	○	○	○
	SCM440	2.2		○	○	○	○	○

○ : Step on chip exists.

△ : Step on chip becomes small.

× : Step on chip disappear.

ブレーカ付バイトで切削した場合送りの小さい条件では転写された段が残っている。切りくずがチップブレーカその他によって曲げられて折断する場合には、切りくず断面の二次モーメントは直接的には折れやすさとは無関係である。

図6-16は切りくず断面をモデル化したものである。厚さ $2h$ の切りくずが(b)図のように段を付与されると、切りくず断面の主軸が α だけ傾き、中立軸から最外層までの距離は $y_{\max} / h$ 倍に増大する。図6-17は、図6-16のモデルについて、切りくず厚さに対する α の変化を示したもので、切りくず幅をパラメータとしている。角度 α は切りくず幅が 2.0, 3.0mmと大きい場合には、切りくずの厚さが厚くなってもほとんど変化がないが、

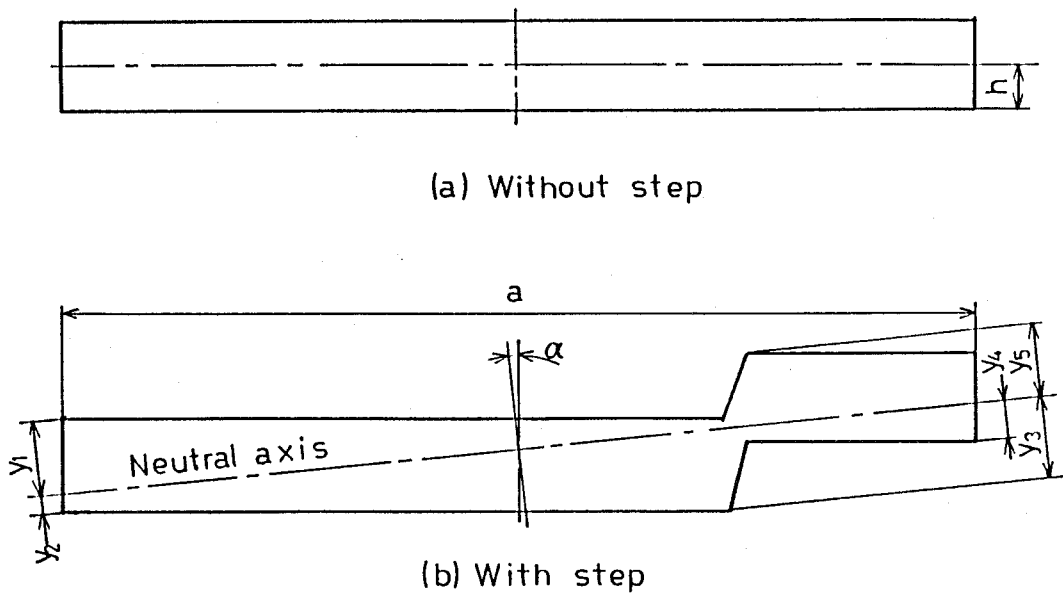


図 6 - 1 6 切りくず断面モデル

1.0 ,0.7mmでは切りくずが厚くなるにつれて大きくなっている。切りくず断面主軸の傾きは工具のシャンク側への傾きである。したがってカールした切りくずがシャンク側に流出しやすくなる。

図6-18は $y_{\max} / h$ の切りくず厚さに対する依存性を示す。 $y_{\max} / h$ は切りくずの幅が変化してもほとんど差がなく、切りくず厚さの増大に対して急減する。切りくず厚さ0.1 mmでは2.5あり、曲げひずみを大きくする効果が大い。切込み2.0 ,3.0mmで送りの小さい場合には断面主軸の傾き α と相まってタイプ4の切りくず折断様式に有効に作用していると考えられる。

送りが大きくなると切りく

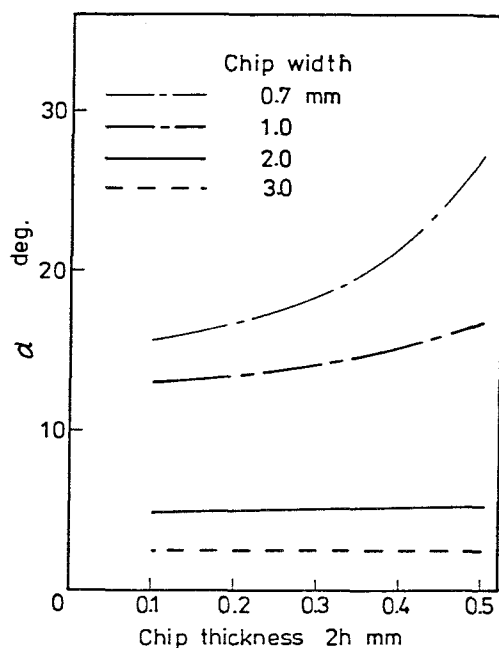


図6-17 2hと α の関係

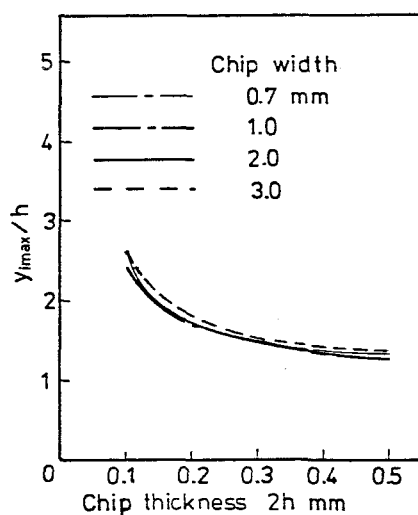
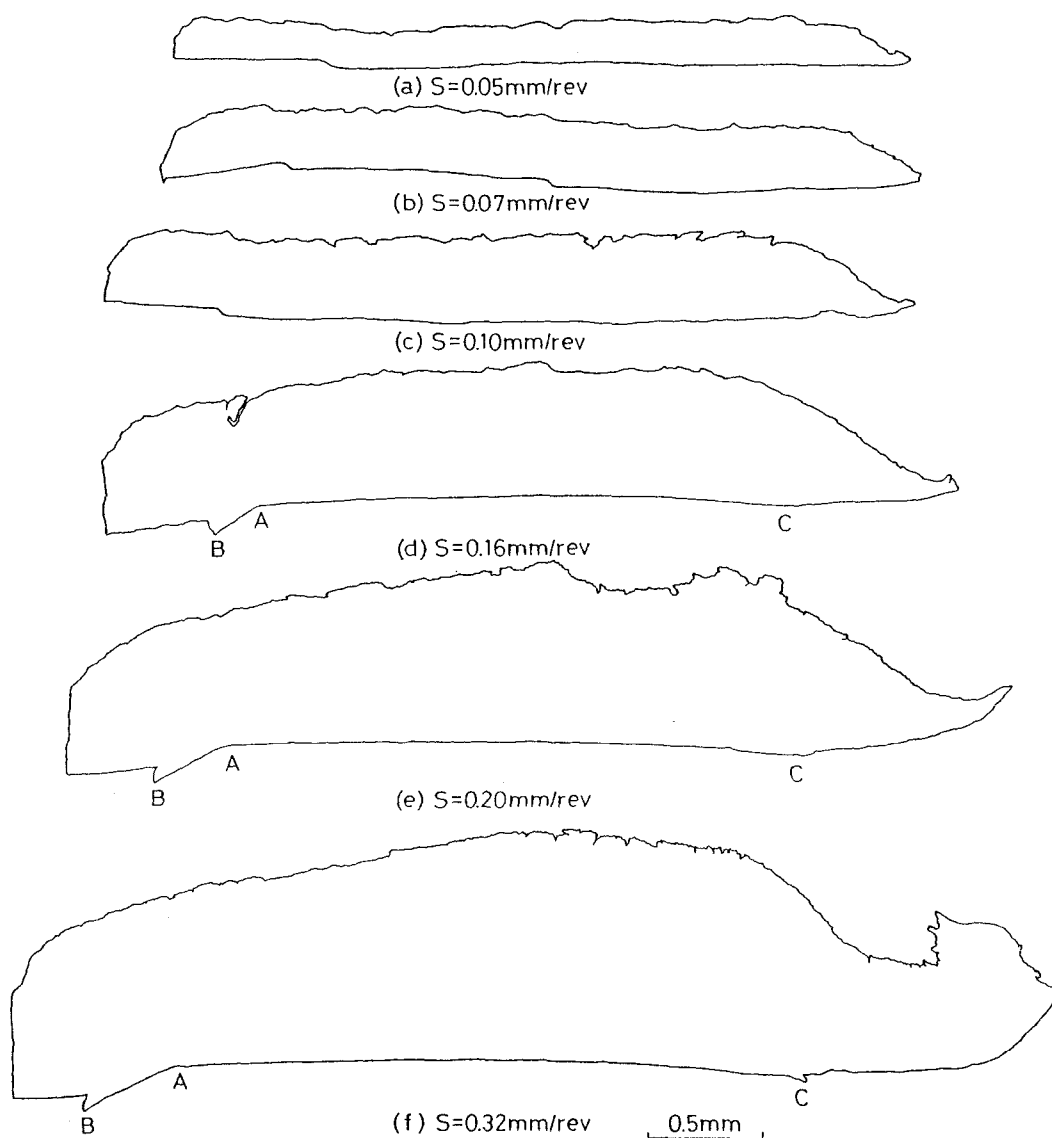


図6-18 2hと $y_{\max} / h$ の関係

ずが厚くなる。そのため切りくずの曲げ剛性が大きくなる一方、ブレーカ壁のポジリード部によって曲げられる曲率半径が小さくなる。その結果、送りが大きくなるにつれブレーカ壁に強く接触し、変形が大きくなる。図6-19(d)～(f)においてA点がブレーカ壁のネガリード部とポジリード部の交点に接触した部分であり、A点からヒレのように突出している先端Bまでがネガリード部と接触した領域、A点から右端に近いC点までが、ポジリード部と接触した領域である。

図6-19にみられるように、切りくずの厚さは副切れ刃に近い部分のほうへ薄くなって、送り 0.05mm/rev のように小さい場合には明確でないが、送りが大きくなるにつれて顕著になる。このような切りくずの幅方向の厚さの違いは流出速度の違いを意味し、切りくずに横向きカールの成分を持たせることになる。さらに被削材の外周側ではサイドフローが生じ、これは送りが大きいほど大きくなるため、送りが大きいほど横向きカールの成分が大きくなる。これらの結果、送りが大きいほど横向きカール成分の大きな斜め向きカールの切りくずが流出する。

すでに述べたように、切りくずのすくい面側はブレーカ壁のポジリード部と強く接触するため、カールした切りくずの流出方向はよりシャンク側に傾くことになる。このように前項で述べたタイプ3の折断様式に対してはポジリード部が有効に作用しているものと考えられる。



Work material : SS41,
 Cutting speed : 3.0m/s,
 Depth of cut : 3.0mm,
 Cutting method: Dry

図 6 - 1 9 切りくず断面形状

6. 4 結 言

乾式によりSS41, SCM440, S55C, SUS304, SK5, 湿式によりSS41, SCM440を切削した結果, 本チップブレードによる切りくず折断様式は7タイプに分けられ, 破断は曲げ, もしくは曲げとせん断の重なりによって生じている.

本チップブレードはブレード壁のみならず, 微小面取りコーナ, 切れ刃に垂直にすくい面に設けた段の作用が重なって広範囲の切りくず折断を可能にしている. (送りが大きい場合には市販の中・荒仕上げ用ブレードと同様ブレード壁のみが有効である.)

参考文献

- 1) 中山一雄: コーナに丸味をつけないバイト (ゼロRバイト), 精密機械, 40, 5 (1974) 409.
- 2) 中山一雄, 新井実, 近藤猛男, 鈴木宏: 曲面すくい面をもつ切削工具, 精密機械, 47, 11 (1981) 1406.

第7章 総 括

広範囲の切削条件で切りくずを折断できるチップブレードが望まれている。切りくずを折断できる切削条件が広くなれば，それだけ加工の柔軟性が増し，切削工作機械の無人運転を進める上で非常に有用である。このため，曲面すくい面をもつチップブレードが多数市販されている。しかし，これらのチップブレードは，仕上げ用あるいは中・荒切削用と比較すると切りくず折断可能な領域が広がっているが，仕上げ領域の切りくず折断性能はあまり改善されておらず，仕上げ領域の切りくず折断性能も向上させたチップブレードの開発が望まれている。そこで本論文では，市販のチップブレードよりも広範囲の切削条件（特に低送りにおいて）で切りくずを折断することができるチップブレードを開発し，そのブレードの切りくず折断プロセスを詳細に観察し，ブレード各部の切りくず折断に対する作用を明らかにし，広範囲のチップブレードを開発するための有用な情報を得た。

得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 第2章では，SS41材の乾式切削において，切込みと送りの広い範囲で切りくず折断可能なチップブレード形状を求めた。すなわち，切削速度 3.0m/s において，切込み $0.1 \sim 3.0\text{ mm}$ ，送り $0.05 \sim 0.51\text{ mm/rev}$ の範囲で切りくずが折断され，目視観察では，仕上げ面も良好である。

- (2) 第3章では、SS41を乾式切削して第2章で求めたチップブレードによる様々な切りくず折断のプロセスを明らかにし、切りくず折断様式は6タイプに分けられること、また切りくず断面形状にある程度、そのタイプの特徴が現われており、本チップブレードによる切りくず折断の様式を推定するのに、この切りくず断面は有用であることを明らかにした。
- (3) 第4章では、SS41以外の鋼（SCM440，S55C，SUS304，SK5）の乾式切削に対する本チップブレードの性能を調べた結果、以下のことが明らかになった。
- (i) SUS304は、実験を行った切込み0.1 ～ 3.0 mm，送り0.05～0.51mm/revのほとんどすべての領域で切りくずは折断される。次いで，S55C，SK5，SCM440の順に折断されない領域は広くなるが，その領域は狭い。
- (ii) 仕上げ面粗さは理論仕上げ面粗さにほぼ一致し，切削抵抗は市販チップに比べ切込みの大きい場合10～30%増大する。またSS41とSCM440について切削距離を増大させたところ，摩耗幅0.1 ～ 0.2mm程度では切りくず折断性能は保持され，仕上げ面粗さもわずかの低下にとどまるが，切込み，送りが大きい場合，コーナ部の塑性変形が生じやすく，耐熱性の良好な工具材種が必要である。
- (4) 第5章では，第2章で求めたチップブレードの湿式切削時の切り

くず折断性能ならびに切削性能を調べた結果，以下のことが明らかになった．

- (i) SS41, SCM440, S55C, SUS304, SK5 とも，切込みが大きく，送りの小さい条件では折断領域が広くなり，実際に使用されることの少ない切込みが小さく，送りの大きい条件では狭くなった．とくにSCM440, SK5 では湿式切削とすることにより，切込みが大きく，送りの小さい条件で切りくずが折断される領域が大きく広がり効果的である．
 - (ii) SS41とSCM440について，切削距離を増大させたところ，湿式切削にすることにより，コーナ部の塑性変形が緩和され，工具摩耗が進行しても切りくず折断性能は保持され，仕上げ面粗さは乾式切削の場合よりも良好な状態が保たれる．
- (5) 第6章では，実験に用いた全被削材を通して，本チップブレーカによる切りくず折断プロセスを明らかにし，本チップブレーカはブレーカ壁のみならず，微小面取りコーナ，切れ刃に垂直にすくい面に設けた段の作用が重なって広範囲の切りくず折断を可能にしていることを明らかにした．

謝

辞

本研究と本稿の完成は大阪大学工学部 長谷川嘉雄教授の御指導のもとに行ったものであります。終始御懇切な御指導，御鞭達を賜りました同教授に謹んで感謝の意を表します。

また本稿の完成に関し有益な御教示と御検討を賜りました大阪大学工学部 井川直哉教授，森勇蔵教授に深く感謝の意を表します。

本研究の遂行にあたり貴重な御教示と御鞭達を賜りました大阪大学工学部 花崎伸作助教授，藤原順介助手に厚く感謝の意を表します。

日頃から御指導を賜わっています大阪大学工学部 峠 睦助手，大阪電気通信大学 安富雅典助教授をはじめ大阪大学工学部機械工学科，産業機械工学科の諸先生方および奈良工業高等専門学校の諸先生方に深く感謝致します。

さらに実験の遂行に際し種々の労を煩わしました大阪大学工学部 岩崎信三技官，森山重信技官および御助力を頂いた大阪大学工学部 長谷川研究室の皆様方に感謝致します。

恩師奈良工業高等専門学校 田中義雄名誉教授には公私にわたり常に御激励を頂き深く感謝致します。

大阪大学工学部 内地研究員の機会を与えて下さいました奈良工業高等専門学校 櫻井洸校長，奈良工業高等専門学校機械工学科前主任 若林敏夫教授，機械工学科主任 松岡一起教授をはじめ機械工学科の諸先生方な

らびに関係各位の皆様方に深く感謝致します。

なお実験の遂行にあたり、超硬工具につき多大の便宜をはかって頂きましたダイジェット工業株式会社に対し深く謝意を表すとともに、高速度カメラ（ハイカム）を利用させて頂きました奈良工業高等専門学校機械工学科 中田敏夫助教授に深く感謝致します。また本実験の一部は文部省昭和59年度科学研究費補助金（奨励研究（A））の援助により行いました。ここに記して謝意を表します。