動的二次元切削場で発生する Caustic 特性

Characteristics of dynamic caustics created during two-dimensional cutting

正 五十君 清司 (三重大・工) 正 中西 栄徳 (三重大・工) ○ 学 劉 強 (三重大・工)

Liu Qiang, Eitoku Nakanishi, Kiyoshi Isogimi

Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Mie University

Kamihama-cho 1515, Tsu, 514-8507, Mie, Japan

Key word: Caustic Experimental Method, Elasticity, Experimental Stress Analysis, Stress Distribution, Surface Reflection

1. 緒言

切削加工は、切削開始から寿命に至るまでに、条件がめまぐるしく変化し、工具の摩耗や突発的な欠損などにより切削性能に大きな影響が出ることもある。そこで実際の切削中の状態や切屑生成機構をより正確に把握する必要が生じる。本研究においては、実験的応力解析法の中の Caustic 実験法を採用し、実際の切削場の中で各時期ごとの作用力状態や応力状態を解明することを目的とし、簡単な切削問題（二次元切削条件）を対象にして実験を実施する。

2. Caustic の発生機構

薄板（試験片）のある領域に、平行光線を垂直に照射すると、試験片前面で光線が反射し、スクリーン上に反射光線の当たる部分と当たらない部分が生じると共にその境界部分に光線が集中して明るくなる部分が生じる。このようにして形成されるものが Caustic と名付けられており、また、その光線が集中して明るくなっている境界をスクリーン平面でとらえた場合、得られた特異な曲線が Caustic 曲線と呼ばれている。発生した Caustic 曲線の寸法や形状は、特異域付近の応力状態を評価するための十分な情報を与えてくれることが知られているので、これらの各値を測定することによって負荷された荷重の状態や荷重作用域付近の応力状態を実験的に評価することができる。

3. 実験方法

3. 1 実験装置の概略

図 1 は本実験で採用した光学系の概略である。光源には He-Ne ガスレーザー（出力 5.0mW、発振波長 632.8nm）を用いた。光源から発せられたレーザー光線は、エキスパンダーにより拡散された後、視野レンズ I によってある広がりを持つ平行光線となって観察域に照射される。反射光を収束させ CCD ビデオカメラに取り組み、記録すると共に、モニタを用いて発生した Caustic 像を観察する。

Figure 1. Outline of caustic optical system

3. 2 切削形態と試験片

本実験では、切削場の現象をできるだけ明確にとらえて Caustics 特性を求めるため、旋盤によって、二次元の一定切込送り条件下で、突切り形式の旋削を選定した。

被削材（試験片素材）には厚さ 5mm のアクリル樹脂板を用いた。アクリル樹脂板は金属よりも縦弾性係数がはるかに小さいため、切削場における Caustic 現象の特性を調べるのに最適と考えられる。同時に、被削材との硬さの差が大きいので工具の欠損や摩耗の恐れもほとんど無く、実験中における接触状態の変動も低減できる。試験片の形状は、板を V に加工したものをを用いた。素材の光学的特性値を表 3.1 に示す。

Table 3.1 Specific property of specimen

光学定 $A \text{ m}^2/\text{N}$	-0.55×10^{-18}
屈折率 n	1.491
縦弾性係数 $E \text{ MPa}$	1600
ポアソン比 ν	0.399

使用工具は、高速度鋼製の突切り形バイトを用いており、刃先部形状は刃幅 6.0mm で、すくい角 (α°) と逃げ角 (γ°) を表 3.2 に示すような角度になるように研磨して作製した。切刃エッジの初期丸みは $R \leq 0.02\text{mm}$ になっていること確認してから実験に使用した。

Table 3.1 Tool

すくい角 α°	-15, 0, 15
逃げ角 γ°	0

3. 3 実験条件

一定切りこみ送り式突切り形二次元切削における工具と被削材の接触部付近に発生する Caustic 像を解明するにあたり、以下の条件で実験を行った。切削速度は 25.13、32.04、157.08、197.92、245.04、376.99、628.32 m/min の 7 種類である。被削材切削部分の直径は 105.0mm から 100.0mm の間で、このようにすることで各切削速度の変化を低減することができ、後述のように切削抵抗値もほぼ一定値とみなすことができる。また、被削材径を 105.0mm に取ることで切削中に支持具に働く作用力によるアクリル樹脂板のたわみや座屈を抑え、また曲率半径変化による逃げ面に対する作用状態の変化の影響もほとんど出ないようにした。

3. 4 測定方法

図2は Caustic 寸法の測定方法を示す。切削（主分力）方向、送り（背分力）方向の Caustic 寸法をそれぞれ L_x 、 L_y とする。

Figure 2. Measured method of caustic length

4. 実験結果と考察

Figure 3. Picture of caustics
(Cutting speed 25.13 m/min, rake angle 15°)

Figure 4. Caustic length and rake angle
(Cutting speed 25.13 m/min)

Figure 5. Caustic length and feed
(Cutting speed 25.13 m/min)

Figure 6. Caustic length and main force
(Cutting speed 25.13 m/min)

Figure 7. Caustic length and radial force
(Cutting speed 25.13 m/min)

図3は工具のすくい角が 15° で、切削速度が 25.13 m/min で得られた Caustic 形状の写真である。

図4は Caustic 寸法とすくい角の関係を示している。すくい角が増加に伴い、切削方向と送り方向の Caustic 寸法が共に減少する。

図5は Caustic 寸法と送りの関係である。送りの増大に伴い、Caustic 寸法が増加する。特に切削方向の Caustic 寸法 L_x の急激に増加する。

図6は Caustic 寸法と各条件下で測定した主分力の関係である。主分力の増加に伴い、切削方向と送り方向の Caustic 寸法 L_x 、 L_y が共に増えていく傾向を見せた。その中でも切削方向の寸法 L_x の大きく変化している。

図7は Caustic 寸法と背分力の関係である。すくい角が -15° と 0° の場合には背分力の増加に伴い、切削方向の Caustic 寸法が減少する。それに対して、すくい角が 15° の場合には背分力の増加に伴い、 L_x が増加する。送り方向の Caustic 寸法 L_y も同様の傾向を示しているが、 L_x の変化がより顕著である。

5. 結言

二次元送り切削を実施し、表面反射 Caustic 実験を適用した。得られた結果を整理すると以下のようになる。切削抵抗の増加によって、Caustic 寸法が増大する。切削条件の影響については、すくい角の減少と送りの増加に伴い、Caustic 寸法が増大する。また、切削速度の変化が Caustic 寸法への影響がほとんどないと考えられた。