ガラスの円板切り*

竹内 聖^{*1}, 佐藤 和郎^{*2}

Circle Cutting of Glass plates

Kiyoshi TAKEUCHI and Yasuo SATO

Up to the present, glass has been cut by snap processing or grinding processing using a diamond wheel. Especially when a glass plate is cut into a circle, grinding processing is the main method. But the method requires a lot of time and energy, and, worse, makes a lot of noise. Thus a new method by means of local compression was used to cut the glass plate into a circle. This report refers to that method. The following's understood: 1) Only compression makes it possible to cut a glass plate into a circle. 2) Cutting by compression requires less energy and time. 3) Almost all parts of the cutting section achieve a mirror finish.

Key Words: New Cutting Method, Glass Plates, Circle Cutting, Compression, Mirror

1. 緒 言

古くから、ガラスは耐摩耗性、耐食性に優れた性質を持つことから、容器、工芸品、建築材料などとして用いられており、最近では、太陽電池、CD-ROM などに使用されるようになってきた。しかし、ガラスは脆い材料であるために切断が問題である。この切断法については、従来からの手曲げ (snapping) や、ダイヤモンド砥石などによるもののほかに、最近では、レーザやウォータージェットなどによる加工法が開発されている。しかし、これらの切断方法では多くの時間やエネルギーを必要とする。

そこで、著者の一人は切断における省エネルギー化、環境への無公害化、生産性の向上を図るため刃物を用いず、材料の破壊を利用した切断法の研究^{(1)~(6)}を進めてきた。その一つに「局部圧縮による切断」⁽⁷⁾と言われているものがある。

本報では、この切断法を応用し、これまで困難とされてきた板ガラスより円板を切断する、ガラスの円板

切りを試み、その切断について述べる。

2. 実 験

2.1 実験方法 図 1 (a), (b) に実験の概要を示す。図 1 (a) が平面図であり、図 1 (b) が X-X 断面図である。図 1 中の (T) は、切断しようとする試験片 (一辺 a , 高さ h)、(A) は定盤上に置かれた平板 (厚さ h_0)、(B) がリング状の加圧片 (直径 D , 幅 a' , 高さ h' , 以下加圧リングという) である。

試験片 (T) の下面には、あらかじめ切断しようとする位置にダイヤモンドガラス切りなどの工具により直径 D の円形切欠を入れておく。試験片 (T) の上面には、切欠に沿って加圧リング (B) を配置した。いま、加圧リング (B) に圧縮荷重 W を負荷すると試験片 (T) は、加圧リング (B) との接触面およびその近傍で局部圧縮⁽⁷⁾を受けることとなる。このとき、平板のヤング率 E_0 と試験片のヤング率 E の関係が $E_0 < E$ となるように選定しておけば、局部圧縮を受ける部分と受けない部分とでは平板の厚さ方向への縮みが異なり、このため試験片内には、自動的に圧縮荷重に比例した曲げモーメントが誘起される。このときの引張応力は切欠部で最大となるため、試験片は切欠を通る縦断面で切断される。

* 昭和 63 年 10 月 18 日 第 66 期全国大会講演会において講演。原稿受付 平成元年 9 月 14 日。

*¹ 准員、アイシン精機 (株) (〒448 刈谷市朝日町 2-1)。

*² 正員、日本大学工学部 (〒963 郡山市田村町徳定字中河原 1)。

2.2 試験片 本実験に用いた試験片は、市販のソーダガラスであり、平板にはアクリル樹脂板を用いた。それぞれの機械的性質を知るため四点支持による曲げ試験を行った。また、平板に用いたアクリルのヤング率もあわせて調べた。表1にこの実験から求めた機械的性質を示す。表1中の値は、それぞれ数枚ずつ実験を行ったものの平均値を示したものである。表1からもわかるように E は E_0 よりも約22倍大きく本切断法の条件を満足している。

(a) 平面図

(b) $E > E_0$
X-X 断面図

図1 実験の概要

2.3 切断例 ここでは、上述の方法を用いた板ガラスの切断例とその切断面について述べる。

図2(a)~(c)に切断例の写真を示す。試験片の寸法は図2に示すように一辺 $a=100$ mm, 厚さ $h=3$ mm の正方形板から、それぞれ直径 $D=80, 60, 20$ mm の円板を切断したものである。また、図2中の W_A は、切断荷重である。平板には厚さ $h_0=10$ mm のアクリル樹脂板を用いて行った。アクリルのヤング率は $E_0 \approx 3.33$ GPa であるのに対してガラスのヤング率は $E \approx 73.5$ GPa であり、本切断法の条件である $E_0 < E$ というのを満足している。また、加圧リングにはアクリルを用い、切欠はダイヤモンドガラス切りにより入れた。

図2では切断されたことがよくわかるように外枠を4分割した後表面に白色のペンキを塗布してある。切断はすべて図2に示すような切断荷重 W_A で期待したように切欠を通る縦断面で切断されている。

図3に図2(a)で示した試験片の切断面の表面粗さを測定した結果を示す。左側が切欠側(引張り側)であり右側が圧縮側である。圧縮側では、曲げ破壊の特徴であるリップ(lip)が認められるが、切断面は若干の凹凸が認められるが、その最大粗さは $R_{max}=10 \mu\text{m}$ の範囲でありほぼ滑らかな平面となっている。このため、製品とするための切断後の処理がほとんど不要に

表1 機械的性質

材 質	引張強さ σ_b (MPa)	ヤング率 E (GPa)	ポアソン比 ν
ソーダガラス	34.69	73.5	0.21
アクリル	—	3.33	—

(a) $\begin{cases} D=80 \text{ mm} \\ W_A=2.6 \text{ kN} \end{cases}$

(b) $\begin{cases} D=60 \text{ mm} \\ W_A=1.9 \text{ kN} \end{cases}$

(c) $\begin{cases} D=20 \text{ mm} \\ W_A=1.1 \text{ kN} \end{cases}$

図2 切断例
($a=100$ mm, $h=3$ mm)

なる。

2・4 円板の切断Ⅱ これまでの方法では切断する直径が大きくなるにつれて切断荷重が大きくなってしまい実験装置の容量などから切断する直径に限界が生じていた。そこで加圧リングを円弧状の加圧片に小さくし、円板を数回に分けて切断することにより小さな容量の実験装置を用いても大きな径の円板を切断することが可能である。図4に切断例を示す。切断した円板は、厚さ $h=4\text{ mm}$ 、直径 $D=210\text{ mm}$ である。切断は図4に示すように切欠を通る縦断面で切断されている。ここでは加圧リングを1/8の円弧に切断したものを用いて切断した。

3. 切断に及ぼす平板材質の影響

実験では、切断する円板の直径を 60 mm 、ガラスの厚さは $h=5\text{ mm}$ 一定として平板の材質のみを変化させた。平板の材質には、鋼、ガラス、アクリル、ポリカーボネイト、塩化ビニール、ゴムの6種類のものとした。この実験結果を表2に示す。表2中の切断荷重 W_A は、それぞれ数枚ずつ実験を行ったときの平均であ

る。切断が期待どおりに行われなかったものについては切断荷重を記入していない。表2からわかるように、平板のヤング率の高い鋼と低いゴムでは、期待どおりに切断が行われなかった。また期待どおりに切断されたものについて注目すると平板のヤング率が高くなるにつれて切断荷重が上がっていることがわかる。このことについては次のように考えられる。

平板のヤング率が高くなるにつれて平板が厚さ方向に縮みにくくなるため同じ荷重を加えても試験片に加わる曲げモーメントが減少するため切断荷重 W_A は増加することとなる。また、ヤング率の高い鋼と低いゴムでは、期待どおりに切断が行われなかったことより、切断するためには、平板のヤング率に適したものがあると考えられる。

4. 特殊切断

4・1 複数の円板の同時切断 「複数の板ガラスの同時切断」⁽⁸⁾では、複数の板ガラスを直線に切断することが成功している。本切断法も、曲げ加工であることより複数の円板切りを試みた。

図5に実験の概要を示す。図5中の $T_1 \sim T_5$ が試験

図3 表面粗さの測定結果

図4 切断例

表2 平板の材質と切断荷重の関係
($D=60\text{ mm}$, $h=5\text{ mm}$, $E=68.6\text{ GPa}$)

平板の材質	ヤング率 E_0 (GPa)	E_0/E	切断荷重 W_A (kN)
鋼	205.8	3.0	—
ガラス	68.6	1.0	6.14
アクリル	3.33	4.8×10^{-2}	5.20
ポリカーボネイト	2.25	3.2×10^{-2}	3.66
塩化ビニール	0.29	4.0×10^{-4}	2.47
ゴム	9.8×10^{-3}	1.0×10^{-4}	—

図5 実験の概要

$$\begin{cases} a=100 \text{ mm} \\ h=4 \text{ mm} \\ D=60 \text{ mm} \\ n_o=5 \text{ 枚} \\ W_A=16.9 \text{ kN} \end{cases}$$

図 6 切断例

片、(B)が加圧リング、(A)が平板である。実験は、すべての試験片の下面にダイヤモンドガラス切りにより直径 D の切欠を入れ、それを順次積み重ね定盤上に置かれた平板の上に載せる。そして、この試験片の上に切欠に沿って加圧リングを配置し、1枚のときの円板切りと同様に圧縮して切断する。

図 6 に切断例を示す。試験片は一辺 $a=100 \text{ mm}$ 、厚さ $h=4 \text{ mm}$ の正方形板で、切断する直径 $D=60 \text{ mm}$ としこれを 5 枚重ねて行った。図 6 からわかるようにすべて期待どおりに切欠を通る断面で切断されている。

4.2 中空円板の切断 図 7 に中空円板の切断例を示す。これは、厚さ $h=1 \text{ mm}$ のガラスを内径 $D_0=20 \text{ mm}$ 、外径 $D_1=120 \text{ mm}$ の中空円板に切断したものである。これは、最近注目を集めているコンパクトディスクの形状と同じである。コンパクトディスクの基板はガラス製であり、現在この基板は板ガラスより研削加工で製作されているため多くの時間とエネルギーを必要としているが、本切断法を用いることにより短時間に小さなエネルギーで製作することが可能である。

5. 結 言

これまでガラスの円板は研削加工により製作されており多くの時間がかかるうえに多くのエネルギーも必要であった。

本報で述べてきたガラスの円板切りは、局部圧縮に

$$\begin{cases} h=1 \text{ mm} \\ D_0=20 \text{ mm} \\ D_1=120 \text{ mm} \end{cases}$$

図 7 中空円板の切断例

より誘起された曲げモーメントを利用したものである。これは、側圧切断や熱応力による切断と同種のものであり、材料の破壊を利用したものである。このため、本切断法を用いることにより短時間に小さなエネルギーで切断することが可能である。さらに、本法では圧縮するだけで切断することができる。また、この切断法では中実円板だけでなく、中空円板に切断することも可能であり、そのうえ、数枚のガラスを重ねて一度に切断することなどが可能であるため生産性の向上もこれまで以上に望めるうえに多様な用途に応用することが可能であると考えられる。

なお、本報では、ガラスの円板切りについての概要を述べるのが主な目的であったので応力分布や、クラックの進展速度についてはいっさい触れていない。しかし、切断面が極めて平滑なことからみても、クラックの進展速度は遅いと考えられる。また、この切断方法の応力分布が解析されれば、円板の直径と切断荷重の関係や平板の材質と切断荷重の関係も定量的に表すことが可能になると思われるので今後の研究に期待したい。

文 献

- (1) 佐藤・森, 材料科学, 15-1(1978), 50.
- (2) 佐藤・綿住・佐伯, 塑性と加工, 18-201(1977), 821.
- (3) 佐藤・直之, 機論, 42-359(1976), 2250.
- (4) 佐藤・外園, 設計製図, 15-77(1980), 158.
- (5) 佐藤・宮内・森, 塑性と加工, 19-208(1978), 403.
- (6) 三澤・佐藤, 機論, 投稿中.
- (7) 佐藤・橋本・五十嵐・大木, 機講論, No. 880-6(1988), 348.
- (8) 五十嵐・佐藤, 機講論, 投稿中.