

角錐圧子を付与したハンマによるガラスの反発硬さ試験

Rebound Hardness Test of Glass by Using Hammer with Pyramidal Indenter

九工大・学（正）*岡島 秀汰 九工大・院（正）陳 璐 九工大（正）松田 健次
 Shuta Okajima, Lu Chen, Kenji Matsuda
 Kyushu Institute of Technology

1. 緒言

衝突前後の速度比、あるいは落下高さに対する反発高さの割合を尺度として硬さ値が定義される反発硬さ試験は、衝突によるハンマエネルギーの散逸の程度を評価していると言える。主として塑性変形にエネルギーが費やされる金属材料では、硬さ値はその材料の塑性変形のしにくさを表す。一方、ハンマ衝突によって破壊が生じ、それにハンマエネルギーが費やされるのであれば、反発硬さ試験によって材料の破壊のしにくさも評価できると期待される。ただし、破壊現象とハンマ反発挙動との関係は必ずしも明らかにされていない。

そこで本研究では、先端にダイヤモンド四角錐圧子を付与したハンマをガラス表面に種々の速度で衝突させ、圧子対面角がハンマ反発挙動と衝突部の損傷発生状況に及ぼす影響を調査した。

2. 実験方法

本実験で用いた試験装置は、前報¹⁾と同じである。すなわち、ハンマをモーター手で挟み、これを開くことにより試験片表面上にハンマを自由落下させる構造である。落下高さ h の目標値は 0.1mm, 0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm とした。ハンマの反発挙動はレーザードップラー振動計を用いて計測した。

ハンマには、超硬合金製の軸部先端にダイヤモンド四角錐圧子を付与したもの 3つ用いた。それぞれのハンマの圧子対面角 α は 136°, 160°, 172° であり、質量は 39.04~39.16g である。試験片には直径 40mm 厚さ 4mm の紫外線用光学ウインドウ(石英ガラス、ヤング率 68.9GPa)を使用した。試験片は修正液を用いて試料台上に接着した²⁾。

3. 圧痕対角線寸法 d とき裂長さ L の定義

ビックアース硬さ HV の定義式を変形した式(1)を用いて、圧痕の対角線寸法 d (mm)を定義した。

$$d = \sqrt{\frac{2\sin(\alpha/2)}{g} \frac{P}{HV}} \quad (1)$$

ここで、 P は最大衝突荷重(N), g は重力加速度(m/s²)である。ビックアース硬さ HV には、超微小硬度計の荷重一変位線図(試験荷重 49mN)から得られた 846 を用いた。また、 $\alpha=160^\circ$ の場合は、過去のマルエージング鋼を用いた実験の結果を参考にし、 $HV_{160} = 0.77HV$ とした。なお、最大衝突荷重 P は、衝突時の加速度波形を最小二乗法により 4 次近似して最大加速度を求め、その値にハンマ質量を乗じて算出した。

圧子衝突部には破壊が生じるが、本研究では圧痕の対角線方向に発生するラジアルクラックに着目し、その長さ L を測定した。なお通常、2 本の直交するき裂長さの平均を L としたが、計測が困難な場合には 1 本のみを測定し、それを L とした。またそれも困難な場合は測定を省略した。

4. 実験結果

4.1 反発係数

Figure 1 に反発係数と落下高さの関係を示す。すべての対面角において落下高さの増加に伴って反発係数が減少する傾向がみられた。 $\alpha=160^\circ$ と $\alpha=172^\circ$ の間には大きな差異がなく、ばらつきも小さい。一方、 $\alpha=136^\circ$ の値は上記二つの対面角よりも 0.1 以上小さく、大きくばらつく結果も存在する。

4.2 圧痕およびき裂寸法

Figure 2 は、Fig. 1 の図中に A~D で示す反発係数が得られた場合の圧痕であり、全て $h \cong 4\text{mm}$ の結果である。 $\alpha=136^\circ$ と 172° の場合、剥離した領域が黒く観察されるのにに対し、 $\alpha=160^\circ$ の場合、き裂は発生しているものの剥離領域は極めて小さい。Figure 3 に、圧痕画像から得られた $\alpha=136^\circ$, 160° の圧痕き裂長さ L 、対角線寸法 d と、最大衝突荷重 P の関係を示す。 $\alpha=160^\circ$ に比べて d の小さい $\alpha=136^\circ$ の方が L が大きく、かつ、 P の増加とともに L と d との差が拡大し

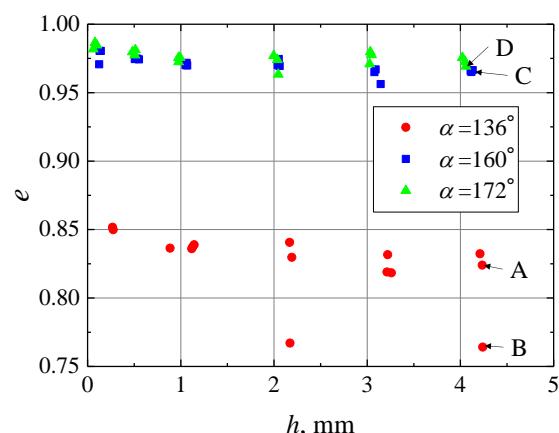


Fig. 1 Relationship between e and h

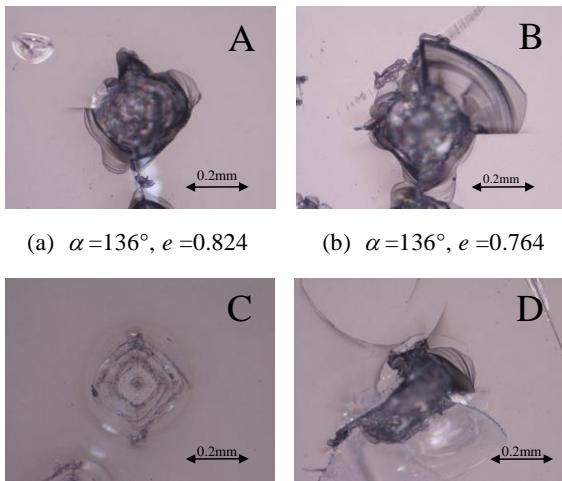


Fig. 2 Indentations left in the glass surface ($h \geq 4\text{mm}$)

ている。また、同一の対面角であっても、Aよりも反発係数の小さいBでは大きなき裂が生じていることが分かる。

4.3 衝突後のハンマ振動

$\alpha = 136^\circ$ ではいくつかの試験で反発係数の顕著な低下がみられた。Figure 4 (a)と(b)は、それぞれ上記AとBの衝突時の加速度波形である。低い反発係数を示した(b)の波形には、最大加速度に到達する直前から振動が重畠していることが分かる。Figure 5は、Bにおける衝突後の加速度波形の振幅スペクトルである。ハンマ固有振動数(一次は101kHz)のところに大きなピークが見られるが、Aでは明確なピークは認められなかった。

5. 考察

先の研究で、反発後のハンマ加速度の振動の大きさは、その振動数に一致する衝突荷重の波の成分に比例することが明らかにされている³⁾。また、Fig. 4 (b)では最大加速度に達する前に振動振幅が増加していることから、Bの測定においては、負荷過程において衝突荷重に影響を及ぼす何らかの変化が試験片に生じたものと考えられる。Figure 2において、Bの圧痕にはAに比べて対角線上に大きなき裂が発生していることが確認されたこと、また、ビックカース硬さ試験を用いた研究では、負荷過程においてラジアルクラックが形成されることが報告されている⁴⁾ことも考慮すると、Bの実験では、負荷過程で対角線方向に大きなき裂が発生し、これがハンマの振動および反発係数の低下を引き起こしたと推定される。

なお、金属材料では対面角の増加とともに反発係数が増加した¹⁾のに対し、本実験結果では $\alpha = 160^\circ$ と 172° が同程度の値を示した。これには、Fig. 2に示した剥離状況の相違が関連していると考えられ、対面角によって剥離状況が著しく異なる原因も含めて今後検討していく必要がある。

6. 結言

ダイヤモンド四角錐圧子を付与した超硬合金製ハンマを用いて石英ガラスの反発硬さ試験を実施した。その結果、石英ガラスの破壊現象がハンマの反発挙動に影響を及ぼすことを示唆する結果が得られた。

文献

- 1) 陳・小山・河村・松田, トライボロジー会議 2021 秋 鳥取 予稿集 (2021), 318.
- 2) 松田・浦川・藤原, 材料試験技術, 61-2 (2016), 79.
- 3) 松田・藤榮, 日本機械学会論文集, 70-700, A (2004), 1741.
- 4) Brian Lawn, Fracture of Brittle Solids-Second Edition, Cambridge University press, (1993), 257.

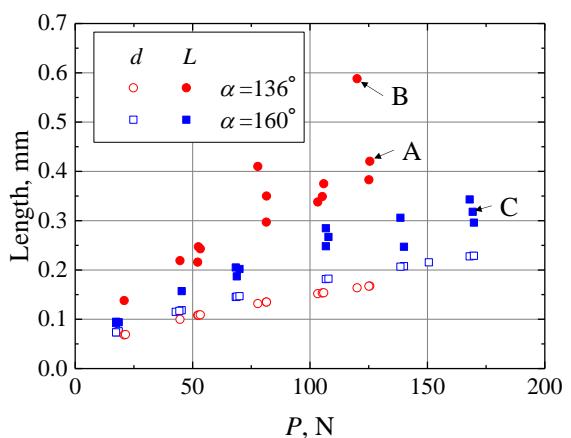


Fig. 3 Relationship among L , d and P

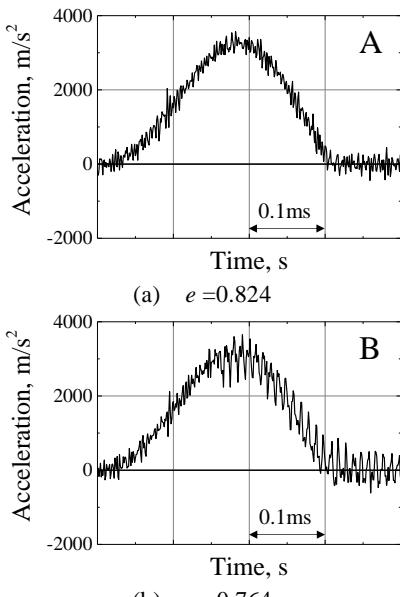


Fig. 4 Variation of the acceleration of the top of the hammer ($\alpha = 136^\circ$, $h \geq 4\text{mm}$)

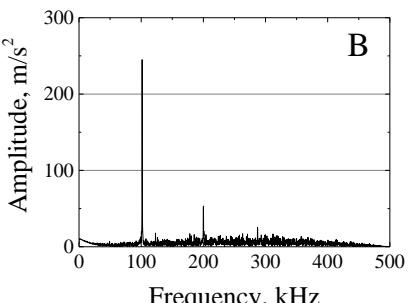


Fig. 5 Acceleration spectrum at the upper most of the hammer ($\alpha = 136^\circ$, $h = 4\text{mm}$, $e = 0.764$)