

ビッカース圧子ハンマの反発係数に及ぼすハンマ質量と衝突速度の影響

Effects of hammer mass and collision speed on restitution coefficient of hammer with Vickers indenter

九工大(学)*松本 みのり 九工大・工(正)松田 健次

Minori Matsumoto, Kenji Matsuda

Kyushu Institute of Technology

1. 緒言

ショア硬さ試験で代表される反発硬さ試験は、測定時間が短く、操作方法も簡便で持ち運びも容易な点から現場での検査手段として広く用いられている。しかし、衝突荷重が大きいくめっきなどの表面被膜材の測定が困難である。衝突荷重を低下させるために落下高さを低下させた場合、ショア硬さ試験用ハンマのように先端が球状を呈するハンマでは反発係数が増加し1に近づくといった問題がある。一方で先の研究により先端にビッカース圧子のような四角錐圧子を付与した高剛性のハンマを用いれば、落下高さによらずほぼ一定の反発係数が得られる反発試験が実現可能であることが明らかになった。しかし反発係数には様々な因子が影響を及ぼすため、その影響を定量的に把握する必要がある。本研究では質量の異なるハンマを用い、また衝突速度を変えて反発硬さ試験を行いそれらの反発係数への影響を検証した。

2. 実験方法

モーターハンドでハンマをつかみ、これを開くことによりハンマを試験片表面に自由落下させた。その落下高さ h は 0.19mm, 0.6mm, 1.9mm, 6mm, 19mm を目標値とした。ハンマの反発挙動はレーザードップラー振動計で測定した。本実験で用いたハンマの寸法諸元を Fig.1 に示す。ここで、ハンマの質量の小さいものから順に A~D の記号を与えている。いずれも先端にはビッカース圧子(対面角 136° の四角錐圧子)を付与している。各ハンマの軸部の形状・材質・質量 m は下記の通りである。

- (1) ハンマ C: ショア硬さ試験機用ハンマとほぼ同じ質量を有し、より軸部の直径を大きく、また超硬合金製とすることによってハンマの剛性を高めたもの。($m=39.15\text{g}$)
 - (2) ハンマ B: ハンマ C の寸法を約 1/2 にしたもの($m=4.29\text{g}$)。
 - (3) ハンマ A: ハンマ B とほぼ同じ寸法で軸部をセラミックス製としたもの ($m=0.94\text{g}$)。
 - (4) ハンマ D: ハンマ C と同様に軸部は超硬合金製であり、ハンマ C の寸法を約 2 倍にしたもの($m=285.54\text{g}$)。
- 試験片には直径 40mm, 厚さ 10mm のマルエージング鋼 ($HV \approx 700$) を用い、修正液を用いて試料台に接着させた。

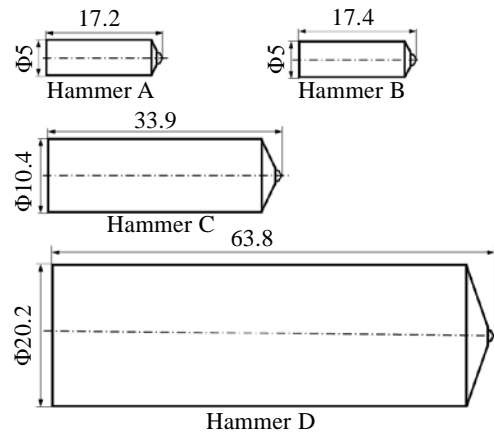


Fig.1 Shape and size of hammers

3. 解析方法

解析には 3 次元弾塑性有限要素法を用いた。試験片形状は直径 25mm, 厚さ 10mm の円柱とし、ハンマと試験片の中心を一致させた。試験片表面に圧子先端が接触した状態から解析を始め、初期条件としてハンマ全節点にハンマ落下高さ h_1 における衝突直前速度 $V_1 (= \sqrt{2gh_1})$ を与えた。モデルの対称性から、圧子軸を含み圧子の稜線およびその 2 等分線を通る 2 つの断面で分割される 1/8 の領域を解析の対象とした。

4. 実験および解析結果

Figure 2 に実験および解析で得られた各ハンマの反発係数 e とハンマ落下高さ h の関係を示す。最も質量の大きいハンマ D の低落下高さ領域の実験結果はばらつきが大きく値も他より低い傾向が見られるが、全体的には実験・解析結果ともに、反発係数は落下高さに大きくは依存していないことが分かる。また、解析結果では、ハンマが異なっても反発係数に大きな相違はなく、5 つの落下高さでの平均値は、その値が最大となるハンマ D と最小となるハンマ C の違いは 1% 未満であった。一方、実験結果においてはハンマ質量が増加するにしたがって反発係数が低下する傾向が認められる。ハンマ C を基準に各ハンマの実験値の平均値を比較すると、ハンマ A, B はそれぞれ 2.6%, 1.2% 大きく、ハンマ D は 6.8% 小さい。

5. 考察

5.1 エネルギー収支

ハンマの除荷過程において、最大の侵入深さに到達した時刻 T_1 からハンマが試験片から離れた時刻 T_2 に至るまでの試験片のひずみエネルギーの減少量すなわち試験片の弾性回復エネルギー U_A と、 T_1 におけるハンマのひずみエネルギーすなわちハンマに蓄えられた最大ひずみエネルギー U_B がハンマの運動エネルギーに変換されるため、反発直後のハンマの運動エネルギー K_2 と U_A, U_B との間には $K_2 \approx U_A + U_B$ の関係が成立している。Figure 3 は、各ハンマの U_A と h の

関係、また Fig. 4 に各ハンマの U_B と h の関係を示す。図中には同一ハンマの結果を最小二乗法を用いて近似した直線とその式も示している。いずれのハンマにおいても U_A 、 U_B ともに落下高さにはほぼ比例して増加していることが分かる。また、近似式の係数はハンマ質量に比例して増加している。衝突直前のハンマが有している運動エネルギー K_1 はハンマ質量と落下高さに比例する。したがって、 $e = -V_2/V_1 = \sqrt{K_2/K_1}$ と定義できる反発係数は、落下高さやハンマ質量に依存せずほぼ一定の値を取るといえる。

5.2 実験結果のばらつき要因

Figure 5 に同一試験片で実験を行ったハンマ A, B, D における圧痕の位置（試験片中心からの距離 l ）と e の関係を示す。図中の直線は、各ハンマの結果を最小二乗法を用いて近似したものである。いずれのハンマにおいても圧痕が試験片中心から離れるほど e が低下し、またその低下の程度、すなわち直線の傾きはハンマの質量が大きいくほど大きくなる傾向が認められる。橋口ら²⁾は試料を固定しない場合、ハンマの質量の増加が衝突による試料の剛体的運動を増加させるため反発係数が低下すること、また衝突位置が外周に近づくにつれて低下の割合が増加することを明らかにしている。よって本実験では試験片の試料台への固定が十分になされておらず、衝突による試料の巨視的な運動を許容したために上記のような e の低下をもたらせたと考えられる。

6. 結言

四角錐圧子を付与したハンマを用いた反発硬さ試験および解析を行い、その反発係数に及ぼすハンマ質量および衝突速度の影響を調査した。その結果、ハンマ質量を約 1g から 300g まで変化させた場合でも反発係数の落下高さ依存性は小さいことを確認した。

文献

- 1) 松田健次・吉川毅, 先端圧子ハンマを用いた反発硬さ試験, トライボロジー予稿集, 福井 2010-9, p.197-198
- 2) 橋口武尊・松田健次・日高孝晟, ビッカース圧子を付与した反発硬さ試験における試験片無固定下でのハンマ質量の影響, 日本機械学会第 21 回評価・診断に関するシンポジウム, 2023.11.30-12.1, p.82-86

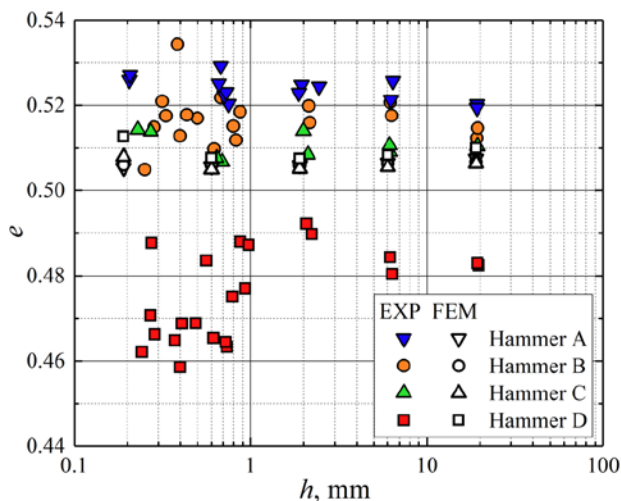


Fig. 2 Relation between e and h of the hammers A to D

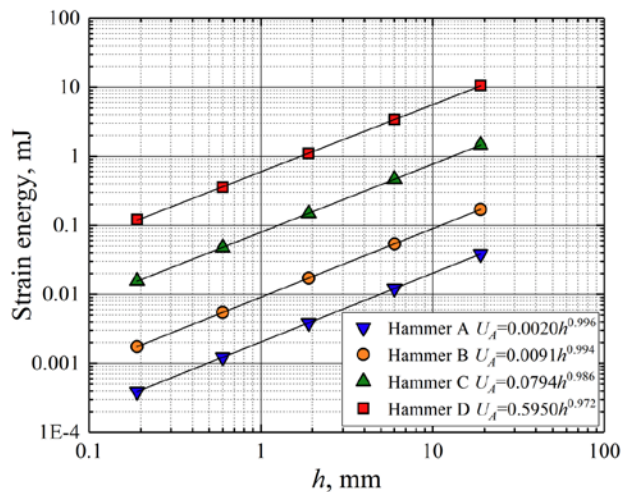


Fig. 3 Relation between U_A and h of the hammers A to D

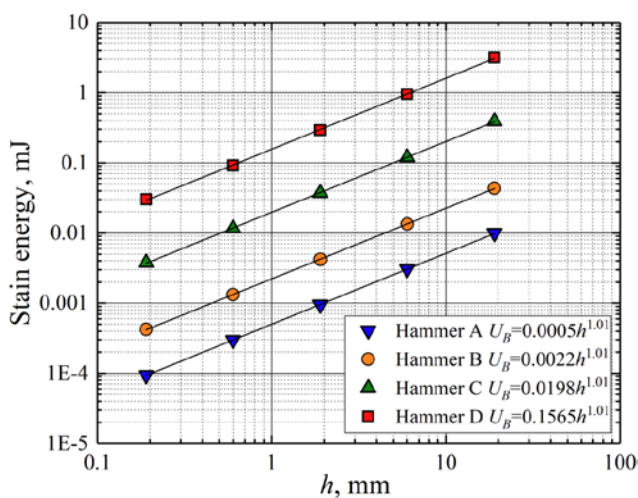


Fig. 4 Relation between U_B and h of the hammers A to D

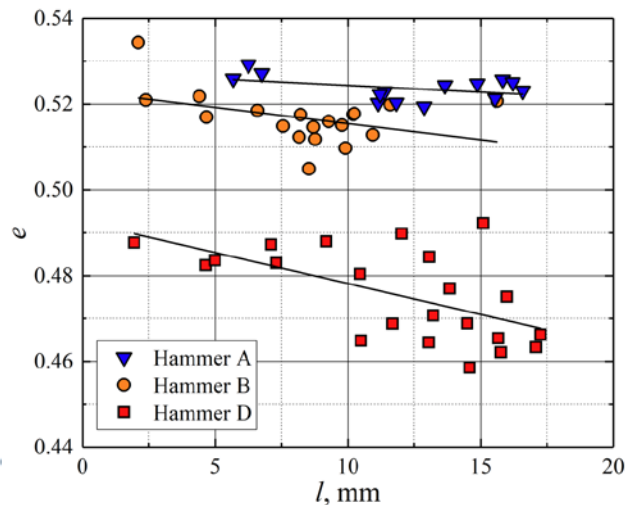


Fig. 5 Relation between e and l of the hammers A, B and D