

# ビッカース圧子ハンマを用いた反発硬さ試験における試験片締結用ねじの有無の影響

The effect of presence or absence of a screw for fixing specimen on rebound hardness test  
by using hammer with Vickers indenter.

九州工大・院（学）\*橋口 武尊 九州工大・工（正）松田 健次

Takeru Hashiguchi\*, Kenji Matsuda

Kyushu Institute of Technology

## 1. 緒言

過去の研究<sup>1)</sup>で、ビッカース硬さ試験に用いられる四角錐ダイヤモンド圧子を付与した高剛性ハンマを用いることで、落下高さに依存せずほぼ一定の反発係数が得られる反発試験方法を提案した。本研究は、この試験方法における信頼性向上を目指す取り組みの一つとして計画されたものである。今回は、試験片と土台との締結方法に着目し、試験片の固定に使用されるねじの有無が反発硬さ試験に及ぼす影響を実験および解析を通して検討した。

## 2. 実験方法

本研究で用いた実験装置の概略を Fig. 1 に示す。装置構造は前報<sup>2)</sup>と同じであるが、レーザドップラ振動計を 2 台用いて、ハンマの反発挙動とハンマ中心から約 5mm 離れた試験片表面の挙動を同時に測定した。ハンマの落下高さについては、4mm を目標に設定した。ハンマには、軸材が超硬合金製で、その先端に対面角 136° の四角錐ダイヤモンド圧子を付与した質量 4.29g のものを用いた。試験片（半径  $r20 \times$  穴径  $\phi 7 \times$  厚さ 10mm）およびそれを設置する土台（外径  $\phi 100 \times$  厚さ 100mm）には、材質が SCM435 の未熱処理品を使用した。試験片の締結には市販の SCM435 製の六角穴付きボルト（呼径 M6  $\times$  ねじ長 25mm）1 本を使用した。なお、締付トルクは約 9N  $\cdot$  m にした。

## 3. 解析方法

解析で用いたモデルの概略図を Fig. 2 に示す。(a)はねじを締結した場合をモデル化したものであり、試験片と土台の接触面を固着させた(Case I)。(b)はねじが無い場合を想定したものであり、試験片と土台間に厚さ 0.01mm の弾性フィルムを挿入し、試験片底面に固着させた。フィルムと土台間には、摩擦係数 0.4 の接触条件を与えている(Case II)。解析には、3 次元弾塑性有限要素解析法を用い、モデルの対称性より、試験片の中心とハンマ中心を通る断面で分割される 1/2 領域を解析の対象とした。解析上の試験片と土台の材料特性は、ポアソン比を 0.3、ヤング率を 205GPa とし、試験片には塑性後の変形挙動として引張試験で得られた応力-ひずみ線図を与えた。フィルムの材料特性はポアソン比を 0.01 とし、ヤング率  $E_f$  を  $0.1025 \times 10^{-3} \sim 205$  GPa の範囲で変化させて解析を行った。

## 4. 実験結果

Figure 3 は、実験での締結用ねじの有無における反発係数  $e$  を比較したものである。ここで、反発係数  $e$  はレーザドップラ振動計で測定したハンマの衝突前の速度  $v_1$  と、衝突直後の速度  $v_2$  との比( $e = -v_2/v_1$ )で定義している。また、横軸の  $R$  は試験片中心からの衝突位置（半径）である。締結用ねじがある場合は、 $R=19$ mm までほぼ一定の反発係数が得られたが、外周縁付近の  $R=19.7$ mm で反発係数は大きく低下した。締結用のねじがない場合は、ねじがある場合と比較して、全体的に反発係数は小さく、また外周に近づくにつれて低下の程度が増加した。Figure 4 に  $R \approx 18$ mm の場合のハンマおよび試験片表面の速度波形を示す。横軸の時間はハンマの速度が 0 となる時刻を 0msec としている。ねじで締結している場合の試験片表面の速度変化は微小であるのに対し、ねじが無い場合は下向きの速度を経て反転している。なお、同図には Case II におけるフィルムのヤング率  $E_f$  を  $0.1025 \times 10^{-3}$  GPa とした場合の解析結果を示しているが、詳細については後述する。

## 5. 考察

上記実験結果より、ハンマ反発挙動には試験片底面の接触剛性が影響していることが示唆される。そこで、解析上で実験結果を再現できる接触剛性を検討した。Figure 5 に Case II  $R=18$ mm において、フィルムのヤング率  $E_f$  を変化させた場合の反発係数を示す。ある一定以上のヤング率を有していれば、Case I の固着した場合と同じ値が得られるが、その限界値を下回ると急激に反発係数は低下していくことが分かる。実験と同程度低下した反発係数になるフィルムのヤング率  $E_f$  は  $0.1025 \times 10^{-3}$  GPa であり、この条件下での解析におけるハンマの速度および、試験片表面の速度波形を Fig. 4 と照らし合わせると、ねじが無い場合の実験結果を比較的良好に再現できており、この条件にて更に検討を進めた。Figure 6 は、 $R=18$ mm における Case I と、Case II のフィルムのヤング率  $E_f=0.1025 \times 10^{-3}$  GPa の場合の(A)ハンマ運動エネルギーと、(B)試験片運動エネルギー、(C)試験片全ひずみエネルギー、(D)試験片塑性ひずみエネルギー、および(E)フィルム弾性ひずみエネルギーの経時変化を示したものである。Case I と Case II とを比較すると、Case II の場合の試験片の全ひずみエネルギーは、ハンマの運動エネルギーが最小になる前に最大を迎えており、その大きさは Case I と比較して小さい。また、Case II の場合、ハンマが試験片から離れる直前まで試験片の運動エネルギーが増加を続け、その大きさは反発直後のハンマ運動エネルギーよりもかなり大きい。その後の試験片運動エネルギーの低下は、フィルムの弾性ひずみエネルギーの増加をもたらしている。これらの経時変化により、ハンマが試験片に衝突すると同時に試験片は下向きの運動を開始し、この運動にエネルギーを費やされたことにより、試験片からハンマへの弾性回復エネルギーの受け渡し量が

減少し、結果として、衝突後のハンマ運動エネルギーが減少して、反発係数は低下したと言える。

## 6. 結言

固定条件の異なる試験片へ四角錐ダイヤモンド圧子を有する高剛性ハンマを落下させた際のハンマと試験片の動的挙動を比較することにより、以下の事項を明らかにした。

- 1) 試験片と土台間に弾性フィルムを設置した解析方法は、ねじで試験片を締結しない実験と近い結果を再現できる。
- 2) ねじで試験片を締結しない条件でハンマを衝突させると、試験片の運動が原因で反発係数が低下する。

## 参考文献

- 1) 松田・吉川：尖端圧子ハンマを用いた反発硬さ試験，トライボロジー会議予稿集，福井 2012-9(2010)197.
- 2) 陳・小山・河村・松田：角錐圧子を用いた反発硬さ試験におけるハンマ傾斜の影響（第1報）  
—異なる圧子を有するハンマの挙動の追跡—，トライボロジー会議予稿集，松江 2021 秋 318.

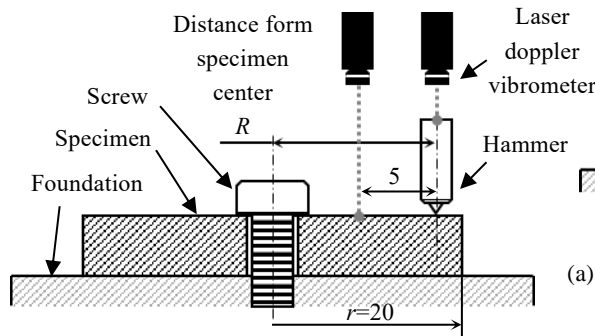


Fig. 1 Schematic diagram of the device for the rebound hardness tester

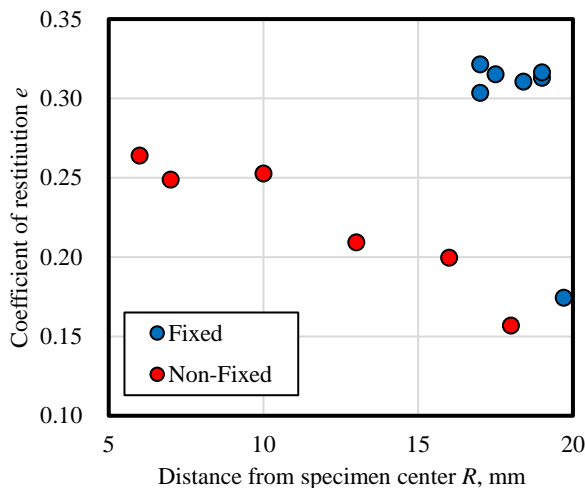


Fig. 3 Relation between distance  $R$  and coefficient of restitution

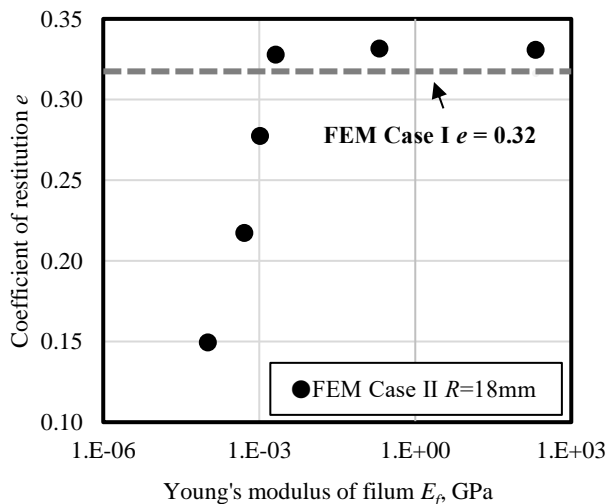


Fig. 5 Relation between predicted young's modulus and coefficient of restitution

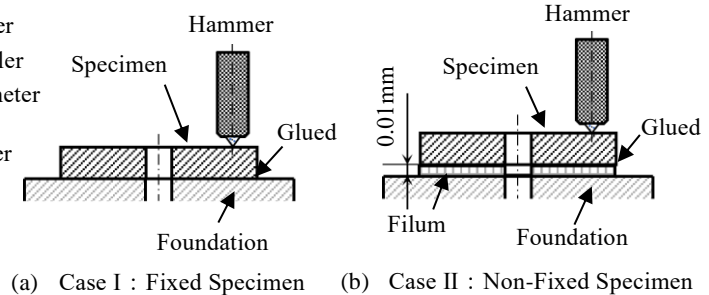


Fig. 2 Analytical models for finite element method (FEM)

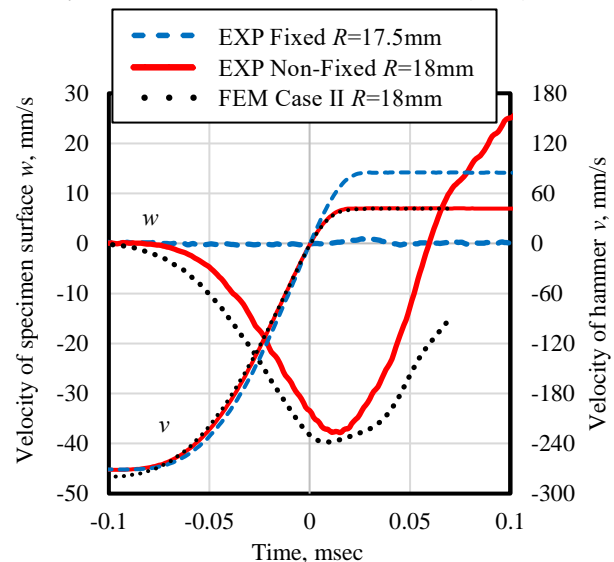


Fig. 4 Time variations of the hammer velocity and velocity of specimen surface

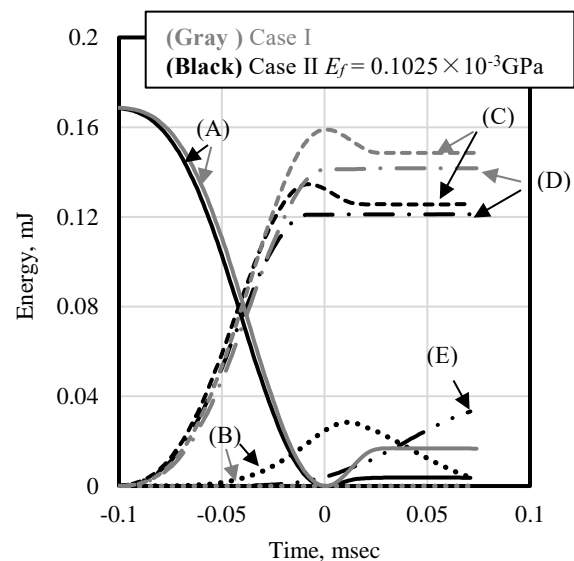


Fig. 6 Time variations of predicted energy for  $R=18\text{mm}$