

画像処理による目視計測の自動化（第1報）

4 画像処理による硬さ試験の自動化

伊藤幸一、内山陽介、藤本直也

Automation of hardness test by image processing

ITOH Koichi, UCHIYAMA Yousuke and FUJIMOTO Naoya

Workers' skill is one of the factors that cause errors in measurement results in tasks that rely on visual measurements using a microscope or the like based on individual worker experience. As such a visual measurement, there is a metal structure hardness test. The hardness test measures the size of the indentation produced by pressing a diamond indenter against a flat sample with a constant load. There is a drawback that the measurement accuracy depends on the skill of the operator because the size of the indentation is measured visually. When measuring indentations by image processing, cast iron and carbon steel (such as S45C) have striped patterns and uneven contrast due to the metal structure of the material. It can be a hindrance. For this reason, we have established a hardness test method that does not depend on the skill level of the operator by developing an image processing method that detects only the indentations while considering the hindrance factors.

キーワード：画像処理、硬さ測定、マイクロビッカース、金属組織

1 緒 言

顕微鏡などにより作業員個人の経験に基づき目視で計測している作業では、作業員の技量が測定の誤差要因となっている。このような目視計測として金属材料の硬さ試験がある。金属材料の硬さ試験¹⁾は焼き入れ処理の確認や破損した部品の原因調査の一環として行われている。硬さ試験は圧子を一定の荷重で平面の試料に押し付けることで生じる圧痕の大きさを測定しているが、目視により圧痕の大きさを計測するため測定精度が作業員の熟練度に依存するという欠点がある。また、画像処理で圧痕を計測する場合、鋳鉄や炭素鋼（S45Cなど）では材質の金属組織に起因する縞模様やコントラストのムラがあるため、それらが圧痕の計測の妨げとなる場合がある。本研究では阻害要因を考慮し圧痕のみを検出する画像処理方法を開発し、作業員の熟練度に依存しない硬さ試験方法を確立した。

2 画像処理による硬さ測定

2.1 硬さ試験

硬さ試験には硬さ試験機（MKG-G-2 明石製作所製）を使用した。硬さ試験は試料を測定する前に、あらかじめ硬さが既知である標準試験片を測定することで装置の正確性を確認している。このため標準試験片（横浜冶金工業製）及び材質の異なる測定試料（アルミ、鋳鉄、S45C、ステンレス）に硬さ試験機を用いて圧痕を刻み、

カメラで撮影して画像処理用の圧痕画像を作成した。

2.2 組織模様が無い場合の圧痕検出方法

硬さの測定領域に金属組織に由来する縞模様など圧痕の検出に対する阻害要因がない試料については、圧痕のアスペクト比が1となる閾値と画像の輝度のヒストグラムをもとに圧痕を検出した。

図1はHV517の標準試験片の圧痕画像とそれを画像処理ライブラリとしてOpenCVを、開発言語としてPythonを用いた二値化処理した画像である。また、開発環境としてJupyter notebookを使用した。マイクロビッカース硬さ(HV)はこの二値化画像の縦方向の長さ(d1)と横方向の長さ(d2)の大きさから換算式により算出する。

画像を二値化するためには閾値を設定する必要があるが、閾値が増加すると二値化後に黒となる部分が大きくなるため、d1、d2が増加しその結果、硬さは減少する。このように画像処理により硬さを計測するためには、二値化処理の閾値を適切に決定することが重要である。このため閾値を決定する方法として以下の2種類の方法を

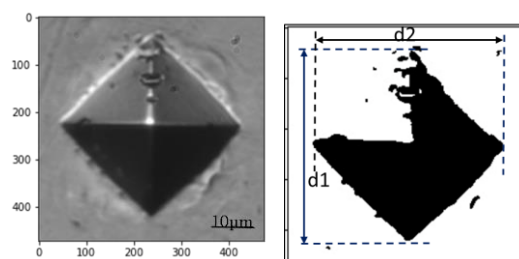


図1 圧痕画像と二値化画像

検討した。

(a) 圧痕のアスペクト比から閾値を決定する方法

圧痕は原理上、縦方向の長さと同方向の長さは等しくなるためアスペクト比 (d1 と d2 の比) は1に極めて近いことが前提となる。アスペクト比が1に最も近い値を閾値とする方法である。

(b) 画像の輝度のヒストグラムから閾値を決定する方法

図2は圧痕画像の輝度をヒストグラムとして表示したものである。ヒストグラムを用いて低輝度側から見てヒストグラムが増加し始める値 (図2の矢印で示した値) を閾値とする方法である。

表1はこれら (a), (b) について HV204、HV517、HV697 の各標準試験片に対し 10 か所測定した結果である。

(a) アスペクト比が1に最も近い値を閾値として採用

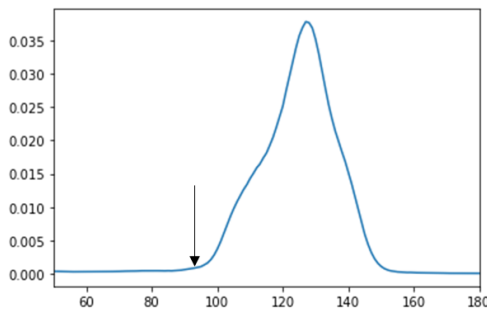


図2 圧痕画像のヒストグラム

表1 閾値の設定法と硬さの関係

| 標準試験片 (HV) | 204 | | 517 | | 697 | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | (a)アスペクト比 | (b)ヒストグラム | (a)アスペクト比 | (b)ヒストグラム | (a)アスペクト比 | (b)ヒストグラム |
| No. 1 | 203.7 | 204.7 | 493.6 | 518.7 | 690.7 | 716.7 |
| 2 | 201 | 202.3 | 502.6 | 517.3 | 705.7 | 705.7 |
| 3 | 205 | 204.3 | 510.5 | 539.9 | 668.1 | 694.9 |
| 4 | 208.5 | 208.5 | 517.3 | 535.5 | 692.8 | 699.2 |
| 5 | 193.3 | 206.1 | 522.8 | 521.4 | 701.4 | 703.6 |
| 6 | 211.7 | 215.7 | 510.5 | 529.8 | 678.2 | 718.9 |
| 7 | 201 | 210.6 | 515.9 | 539.9 | 725.7 | 734.9 |
| 8 | 195.8 | 204.7 | 518.7 | 531.2 | 648.5 | 746.6 |
| 9 | 207.4 | 206.4 | 510.5 | 527 | 690.7 | 670.7 |
| 10 | 195.5 | 204.7 | 483.6 | 514.6 | 712.3 | 712.3 |
| 平均値 | 202.3 | 207.3 | 508.6 | 527.5 | 691.4 | 712.3 |

表2 平均化と相対誤差の関係

| 標準試験片 (HV) | 204 | | 517 | | 697 | |
|------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| | 平均化 | 相対誤差(%) | 平均化 | 相対誤差(%) | 平均化 | 相対誤差(%) |
| No. 1 | 204.2 | 0.1 | 510.6 | 1.2 | 703.7 | 1.0 |
| 2 | 201.7 | 1.1 | 513.9 | 0.6 | 705.7 | 1.2 |
| 3 | 204.7 | 0.3 | 528.6 | 2.2 | 681.5 | 2.2 |
| 4 | 208.5 | 2.2 | 529.2 | 2.4 | 696.0 | 0.1 |
| 5 | 199.7 | 2.1 | 516.0 | 0.2 | 702.5 | 0.8 |
| 6 | 213.7 | 4.7 | 522.9 | 1.1 | 698.6 | 0.2 |
| 7 | 205.8 | 0.9 | 529.3 | 1.1 | 698.6 | 0.2 |
| 8 | 200.2 | 1.8 | 520.9 | 0.7 | 697.5 | 0.1 |
| 9 | 206.9 | 1.4 | 505.3 | 2.3 | 690.7 | 0.9 |
| 10 | 200.1 | 1.9 | 511.6 | 1.0 | 712.3 | 2.2 |
| 平均値 | 204.5 | 1.7 | 518.8 | 1.4 | 701.9 | 1.4 |

した場合は計測値が過小評価されている一方で、(b) ヒストグラムで増加し始める値を閾値として場合では過大評価されている。そこで、この二つの閾値の結果を平均化した場合の結果が表2である。この場合の相対誤差は2%程度であった。したがって、硬さの測定領域に金属組織に由来する縞模様など圧痕の検出に対する阻害要因がない試料については、圧痕のアスペクト比が1となる閾値と画像の輝度のヒストグラムをもとに圧痕を検出する方法で高精度の計測が可能となっている。

2.2 組織模様がある場合の圧痕検出方法

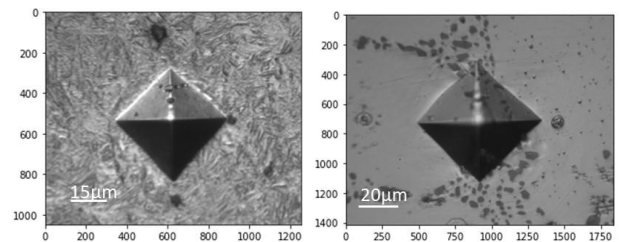
図3に金属組織の圧痕を示す。炭素鋼などエッチングにより、材表表面に模様がある試料では、単純に閾値の調整では圧痕を検出することが困難である。

圧痕の検出が困難な例を示したものが図4である。炭素鋼 (S45C) の圧痕画像を一定の閾値で二値化した結果を示したものであるが、金属組織の違い (フェライト：白、パーライト：黒) により画像がまだら模様となっている。

図4 (b) では二値化の閾値を 50 とした場合、圧痕の上部の頂点が検出できておらず、閾値を 100、120 に増加させた場合では圧痕の下部の頂点が検出できていない。このように金属組織模様がある場合では単純に閾値を設定するだけでは圧痕の検出が非常に困難である。

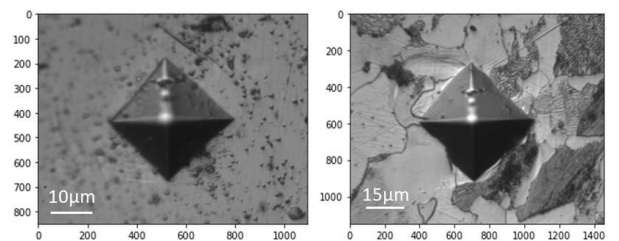
このため、圧痕の頂点の検出に圧痕の上下方向のコントラストの非対称性を利用した。

硬さ測定装置の光源と測定時の圧痕との位置関係から、上半分の三角形の領域と下半分の三角形の領域ではコントラストが異なり、下半分の三角形では上半分よりも黒く映っている。このコントラストの非対称性を利用して圧痕の各頂点の検出を行った。



(a) アルミ

(b) 鋳鉄



(c) S45C

(d) S304

図3 金属組織と圧痕の画像

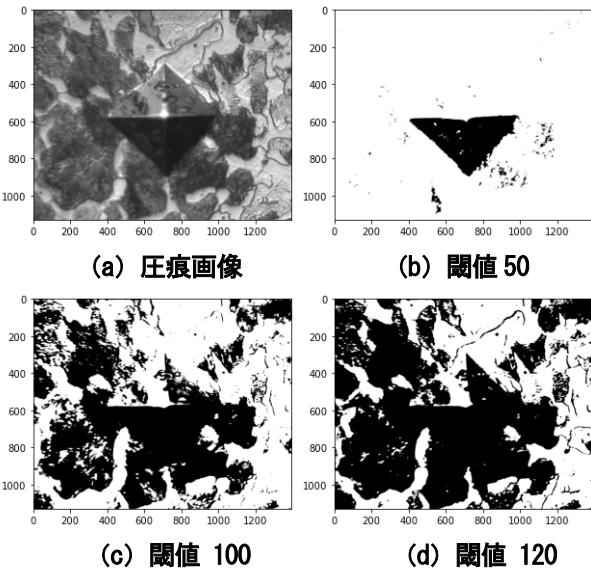


図4 圧痕画像の二値化像

図5は組織に模様がある場合の圧痕の検出方法の具体例を示したものである。

(a) 下半分の頂点の検出

最初に圧痕部のうち下半分の三角形の領域が他の部分よりも黒いことを利用し、適切な閾値を設定することで下半分の三角形の各頂点を検出する。

(b) 輪郭処理領域の設定

圧痕の対称性から上半分の頂点は下半分の頂点と上下方向に対象となる付近にあると推定される。このため、圧痕の水平方向の対角線を軸に下半分の頂点を折り返した点を仮の頂点として領域を設定する。

(c) 輪郭抽出処理

設定した領域にエッジ処理を行い、領域内の輪郭の抽出を行う。輪郭の端点を圧痕の頂点とする。

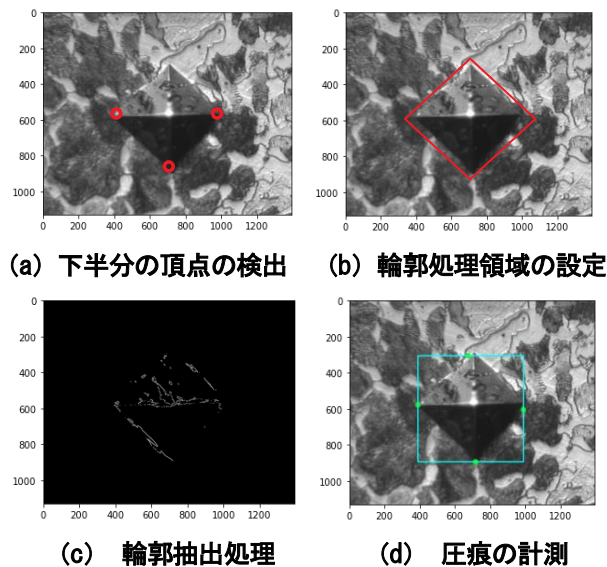


図5 圧痕検出の画像処理方法

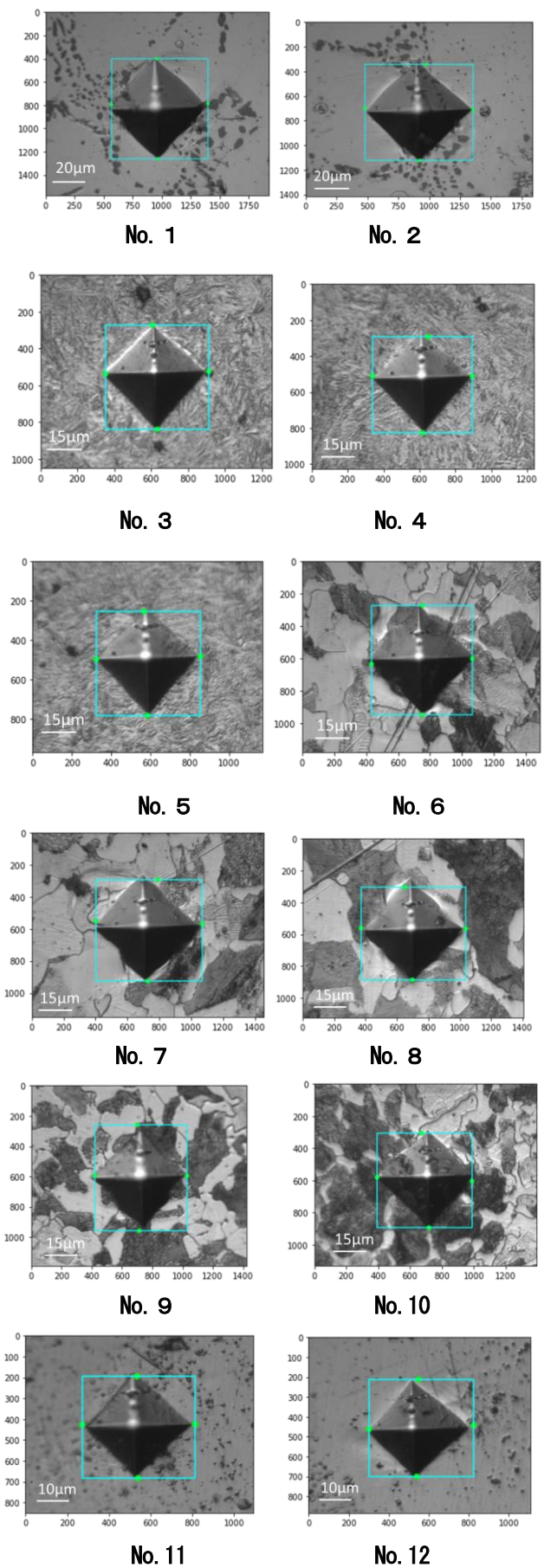


図6 画像処理による圧痕検出結果

(d) 圧痕の計測

端点を通る矩形の方向の長さ (d1) と横方向の長さ (d2) から硬さを算出する。

図 6 は上記の検出方法をアルミ、鋳鋼、炭素鋼 (S45C) 及びステンレス (S304) に適応した結果である。様々な組織模様のある画像においても、圧痕のコントラストの非対称性を利用した頂点の検出は有効であることを示している。

表 3 は上記の画像処理アルゴリズムによるその硬さ試験結果である。画像処理による硬さ試験の結果、HV100～HV600 程度の範囲内での、目視計測と画像処理による計測値の相対誤差は平均して 2%程度であり、精度の高い計測が可能であることが判明した。

表 3 目視計測値と画像処理による計測値の比較

| No. | 硬さ(HV) | | 誤差(%) | 材質 |
|-----|--------|------------|-------|------|
| | 目視計測値 | 画像処理による計測値 | | |
| 1 | 107 | 104 | 2.80 | アルミ |
| 2 | 109 | 108 | 0.92 | アルミ |
| 3 | 597 | 580 | 2.85 | 鋳鋼 |
| 4 | 600 | 618 | 3.00 | 鋳鋼 |
| 5 | 644 | 665 | 3.26 | 鋳鋼 |
| 6 | 171 | 175 | 2.34 | S45C |
| 7 | 173 | 178 | 2.89 | S45C |
| 8 | 184 | 180 | 2.17 | S45C |
| 9 | 185 | 184 | 0.54 | S45C |
| 10 | 205 | 210 | 2.44 | S45C |
| 11 | 293 | 285 | 2.73 | S304 |
| 12 | 293 | 291 | 0.68 | S304 |

3 結 言

- ・硬さ測定が目視計測の自動化を目的として、圧痕の撮影画像の二値化処理を行い、圧痕の大きさを計測することで硬さを算出する方法を開発した。
- ・組織模様が無い金属材料では、圧痕のアスペクト比が 1 に最も近くなる閾値を用いた場合の硬さと画像のヒストグラムを最小値を閾値とした場合の硬さの平均を算出した結果、HV204、HV517、H697 の各標準試料では相対誤差は 2%程度であった。
- ・組織模様がある場合では、組織模様と圧痕の頂点が重なると単純な閾値を設定するのみでは圧痕の頂点の検出が非常に困難であるため、圧痕の上下方向のコントラストの違いから圧痕の頂点が存在する領域を設定し、領域内の輪郭を検出することで圧痕を検出した。
- ・上記の方法でアルミ、鋳鋼、炭素鋼 (S45C) 及びステンレス (S304) を測定した結果、HV100～HV600 の範囲内で目視による測定結果と画像処理による計測値との相対誤差は約 2%程度であった。

文 献

- 1) 日本産業標準調査会：JIS Z2244 ビッカース硬さ試験