

武蔵工業大学 学生員 堀江一弘 武蔵工業大学 正会員 西脇威夫  
 武蔵工業大学 正会員 増田陳紀 武蔵工業大学 正会員 皆川 勝

1.はじめに 現在、電子顕微鏡の発達により微視的破面解析の研究が進められてきている。しかし、疲労、破壊靱性等の分野の研究では破面の定量解析が行われているものの、大部分の研究が特徴的模様を定性的に観察するにとどまっている。本研究では、破面写真の明度が破面の特徴を示すものと考え、明度変化測定の精度の向上、迅速化をはかるため、リニアイメージセンサー（以下、センサーと言う）を使用した明度測定装置を考案し破面特性を定量的に評価することを試みるものである。

2.明度測定装置及び測定方法 本研究のため考案した明度測定装置を写真-1に示す。この装置は、ネガフィルム設置部、レンズ部、センサー取付部及びこれらを連結するペロースからなり、図-1に示すように、走査電子顕微鏡を用いて撮影した破面写真のネガフィルム(50mm×50mm)に光をあて、レンズ系を通してセンサーに明度を感知させるものである。センサーは、感光部、転送部及び出力回路部から構成され、感光部で感知された光学情報の強さに比例した電気信号を出力することができる。本研究で使用したセンサーは、高さ幅ともに25.4μmの素子を1024個、一次元的に並べたレティコンRL1024ESである。図-2に示すように、ネガフィルムの縦横に5mm間隔の観測線を8本づつ設け、ネガフィルムを移動させることにより各々の観測線上の明度変化を測定した。測定系ブロック図を図-3に示す。なお、測定結果に及ぼすレンズの絞り及び光源距離の影響が少なくないことから、いくつかの組合せで同一試料を測定し、種々の検討を行った結果、本研究では、絞りを8、光源距離を26cmとして測定した。

3.ステレオ立体観察と明度変化の対応 上記の測定方法によって得られた明度変化を表わす波形を図-4に、それに対応するステレオ写真を写真-2に示す。ステレオ立体観察を行う

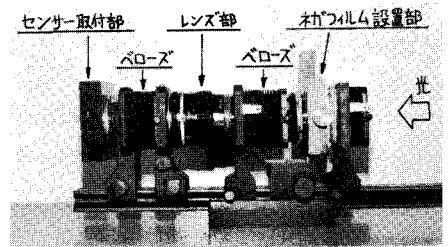


写真-1 明度測定装置

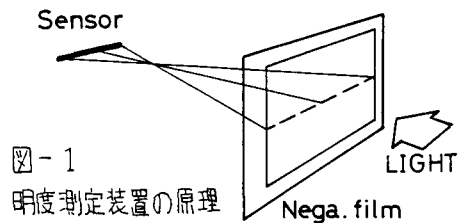


図-1

明度測定装置の原理

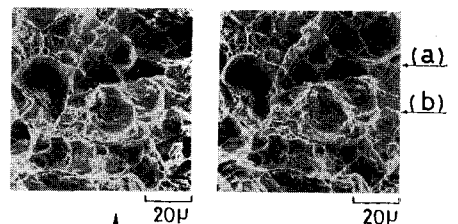


写真-2 走査電子顕微鏡によるステレオ写真

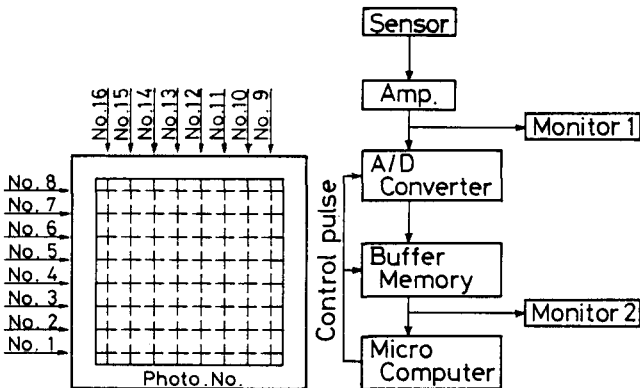


図-2 観測線

図-3 測定系ブロック図

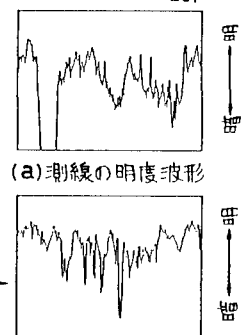


図-4 明度波形

(b) 測線の明度波形

と、ディンプルは起伏のある破面上に点在していることがわかるが、明度波形は破面の全体的な起伏とは必ずしも完全に対応しているとは言えない。しかし、ディンプルの大きさ、相対深さを等に着目すると、局部的には破面の凹凸と明度の間にはある程度の対応関係が見られる。

4. 解析方法 解析方法は文献[1]と同様であり、ここでは概要を示すにとどめる。観測線上の明度波形をフーリエ変換する。次に、得られたスペクトルより以下の諸量を求めることで、破面凹凸の分布特性を検討する。

$$f_G = \int_0^{f_N} f \cdot P(f) df / \int_0^{f_N} P(f) df, \quad V = \sqrt{\mu_2}, \quad \sqrt{\beta_1} = \mu_3 / \sqrt{\mu_2^3}, \quad \beta_2 = \mu_4 / \mu_2^2$$

$$\text{ただし } \mu_r = \int_0^{f_N} (f^r) \cdot P(f) df / \int_0^{f_N} P(f) df, \quad f' = f - f_G$$

ここで  $f_G$  : スペクトルの分布の重心の周波数,  $V$  : スペクトルの分布の偏差

$\sqrt{\beta_1}$  : 対称分布からのひずみ度,  $\beta_2$  : スペクトルの分布の尖鋭度

5. 解析対象及び解析例 解析対象としてSM41A鋼材を使用し、試験温度が常温、100℃、200℃、300℃の4種の場合における引張試験を行い、その破面を走査電子顕微鏡を用いて観察した。写真-3に示すように

定性的には試験温度が高い程ディンプルが大きくなる傾向にあり、また、この大きなディンプル(I型)を結合させる形で小さなディンプル(II型)が顕著に現われてくる。 $f_G$ 及び $V$ の累積相対度数分布を図-5に示す。100℃と200℃の結果が逆になっているものの、試験温度が高い程 $f_G$ 、 $V$ の値は大きくなる傾向がある。一方 $\sqrt{\beta_1}$ 、 $\beta_2$ は、高温程小さな値を示す結果が得られている。すなわち、高温での破面程、破面の深さ変化はきめの細かいもので凹凸に富んでおり、試験温度が低い程破面の凹凸はなだらかなのである。また、高温程種々の周波数成分の波が混在していると言える。この様に、試験温度変化による破面の様相は、各特性値の累積相対度数分布に顕著に現われていると考えられる。

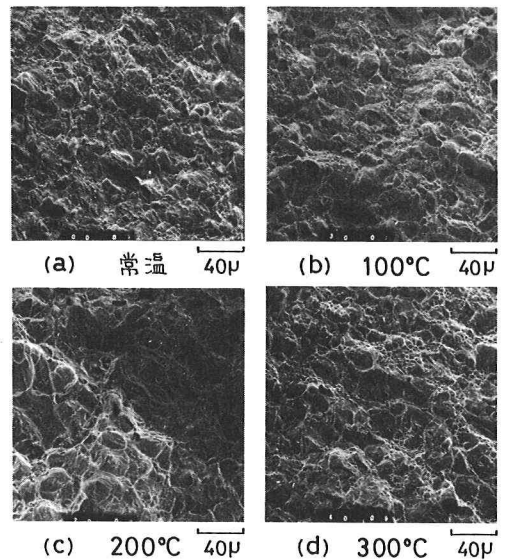


写真-3 各試験温度における破面

6. おわりに 本研究によって考案された明度測定装置を用いることによって、明度変化を迅速かつ正確に評価することができる。ここで示した解析例においては、

破面形状の相違は4.で述べた解析方法を用いることによってある程度定量的に評価できると考えられる。なお、疲労破面のストライエーション解析に対しても十分応用できると思われることから、現在、検討中である。

<謝辞> 本研究を進めるにあたって、武蔵工業大学吉岡靖夫助教授、並びに、杉本公弘助教授に有益な助言を頂き厚く感謝いたします。

<参考文献> [1] 高木, 西脇, 増田, 皆川 他: 延性破壊した鋼材の定量的な破面解析の方法に関する2,3の検討, 第37回年鑑集, 1982

[2] 佐藤良一郎: 数理統計学, 培風館, 1955

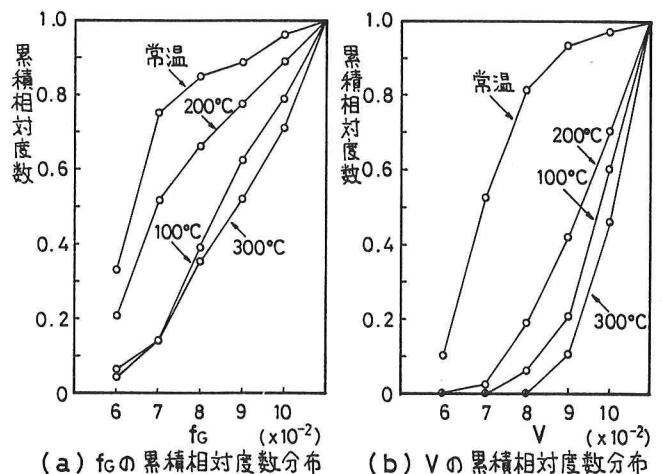


図-5  $f_G$ ,  $V$ の累積相対度数分布