

## デジタル画像相関法（DIC）を活用した材料評価技術

### はじめに

材料の強度や成形性といった特性を評価する際に、変形量を表す値として「ひずみ」と呼ばれる値を測定することがあります。「ひずみ」には、いくつかの定義がありますが、一般的に用いられる値は材料の変形量を元の長さに対する割合で表したのになります。特に材料の機械的性質を評価する際に基本的かつ重要な値として昔から測定されてきました。

今回紹介する、「デジタル画像相関法（Digital Image Correlation、以降はDICと称します）」は、材料のひずみを測定する手法として、高解像度イメージセンサと画像処理技術の進歩によって、近年可能となった技術です。従来のひずみ測定法と比較して、様々な点でメリットのある手法になります。

図1に試験装置（写真は微小引張試験機）に測定システムを搭載した状況を示します。

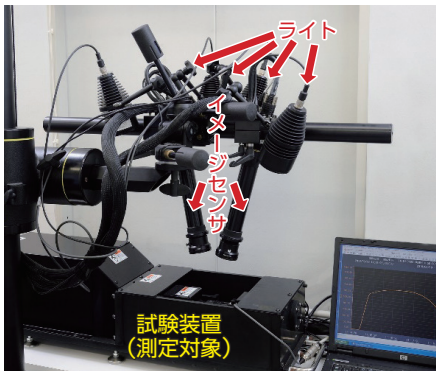


図1 システム構成図

二つのイメージセンサと測定対象との距離を基準としてキャリブレーションされたシステム、高速な画像処理アルゴリズムとその駆動に耐えうるワークステーションを利用します。材料の変形状況をイメージセンサで撮影し、得られた画像の変化からひずみを測定します。

DICそのものの技術的な詳細については、他の専門書にお譲りすることにして、本報ではDICを用いた材料評価技術について、いくつかの事例を示しながらご紹介します。

### ひずみの測定技術

従来のひずみの測定には、いくつかの手法があります。一般的には、①材料の二点間の変形（伸びや縮みなど）を直接測定する接触式変位計、②測定対象に張り付けたフィルム状抵抗体が、測定対象とともに変形する際に生じる抵抗変化をひずみに換算するひずみゲージ、を用います。いずれも

測定対象に接触させてひずみを読み取る手段として幅広く利用されています。

測定のイメージを図2に示します。

従来の手法は安定的な測定が可能一方で、その構造上の仕組みから、測定へ何かしらの影響や制限を生じさせるケースがあります。

例えば、変位計は空間的な余裕が必要であり、機械的な機構で測定対象に固定されるため、測定対象の変形に影響を与える場合があります。

ひずみゲージも同様で抵抗体を測定対象に貼り付けるために使用される接着剤が測定対象の変形特性に影響を与えること、貼り付けるために面積が必要であること、場合によっては精密な位置決めが必要とされ、貼り付けるために多くの時間と神経を割く場合があります。

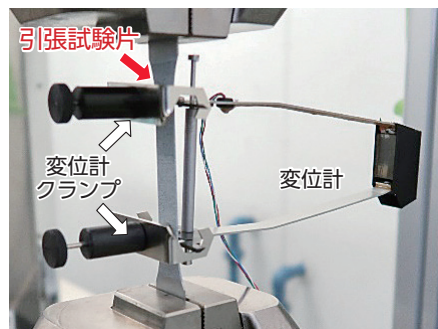


図2 接触式変位計を設置した引張試験片

### DICによるひずみ測定と特徴

DICによるひずみ測定では、まず測定対象の表面に白と黒のランダムパターンを作成します。そして、測定対象を引張試験機などで変形させ、ランダムパターンの変形を連続撮影します。変形前後の画像についてパターンの特徴（相関性）からパターンマッチングを行い、パターンの移動量、変形を評価することで、測定対象に生じたひずみを算出します。

この方法の特徴としては、①非接触での測定、②材質を選ばない（パターンが付くことが前提）、③ひずみ分布を可視化できる、④任意の位置および方向のひずみを抽出できる、⑤破断する箇所を確認したのち

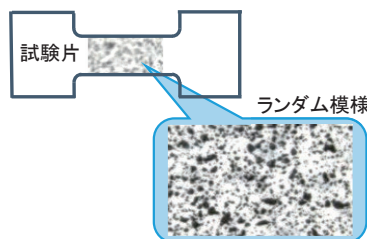


図3 引張試験片に塗布したランダムパターン

に将来的に破断する箇所のひずみを観察できる、などが挙げられます。

従来の測定技術で得られていた情報量と比較して多くを得ることが可能となります。

特徴③④について、次に引張試験にDICを適用した結果を用いて具体的に説明します。

### 引張試験について

引張試験は材料の強さを評価する手法の一つです。日本工業規格で定められた形の試験片を用い、統一された条件下で試験に供します。元に戻らない変形が始まる応力である降伏応力や耐えうる最大の引張応力である引張強さ、分離破断する際の伸び、そして応力とひずみの関係を評価します。

応力とひずみの関係は、コンピュータシミュレーションで計算する際に使用されています。

### 引張試験で見るDICの特徴

図3にランダムパターンを塗布した引張試験片の模式図を、図4にその試験片が破断する直前において、DICによってひずみを計測した結果を示します。

図4上段に示すようにひずみの大きさを色で表示したものをコンター図と呼びます。ひずみが大きい部分を赤く、小さい部分を青く表示することで変形を強調して可視化することが可能です。

コンター図で表示されている領域内であれば任意の方向、任意の数のひずみのデータを取り出すことが可能です。例えば図4のコンター図中に示した黄色破線部分のひずみ分布が図4の下段に示すグラフとなります。このように、任意の断面でひずみ分布の評価が可能です。

またコンター図のひずみ値はひずみゲージでは測定できないほど非常に大きな値です。このように破断直前までの大変形

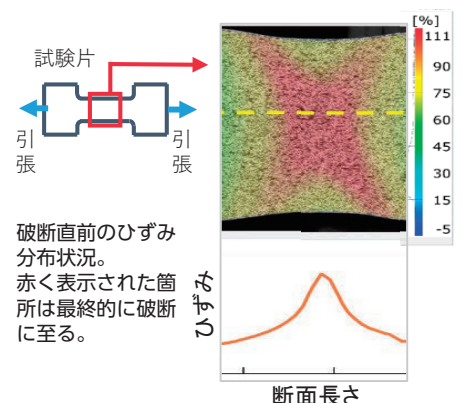


図4 ひずみコンター図と断面ひずみ分布



であっても測定が可能な点もDICの利点の一つです。

次は、より実践的な二つの測定例をご紹介します。

### 事例1；接合部に対するDICの適用

前項で解説した基本的な母材に対する評価とともに、溶接など種々の方法で接合された材料に対する試験評価も重要視されています。従来、接合材の機械特性としては最大強度や変位が主として評価されてきましたが、DICと組み合わせることにより接合部そのもののひずみ評価を行うことが可能になりました。

適用事例として、スポット溶接された薄鋼板のひずみ分布評価について、引張せん断強度試験（TSS; Tensile Shear Strength）とL字引張試験（LTS; L-shape Tensile Strength）へのDIC適用例を示します。

図5に引張せん断強度試験とL字引張試験の模式図を示します。

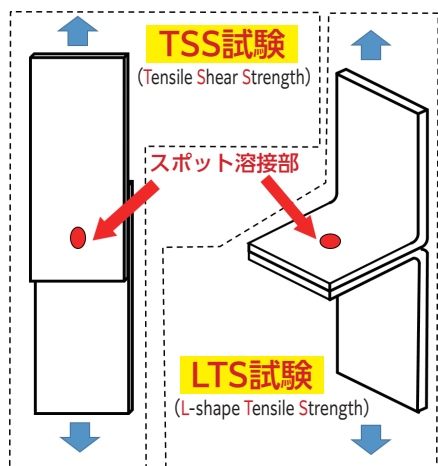


図5 TSS&LTS試験模式図

図6は、TSS試験で得られたひずみ分布例です。ここでは、試験片破断直前のひずみ分布を最大主ひずみとミーゼス相当ひずみで示しています。図7はLTS試験に対して、試験開始から破断直前までを時系列順に並べ、最大主ひずみで示しています。

図6のTSS試験、図7のLTS試験の何れに於いてもスポット溶接部周辺でのひずみの集中が可視化されています。

また前述の引張試験と同様に、試験後に任意ポイントのひずみ値・変位量を得ることが可能であるため、複雑な変形からポイント箇所を選定して必要なひずみ解析を行うことができます。

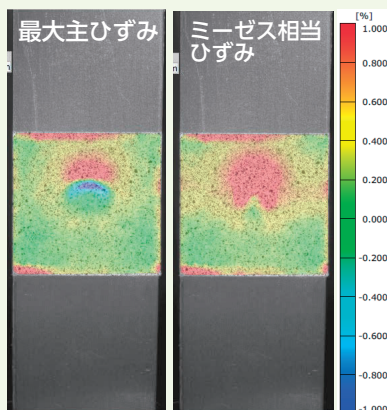


図6 TSS試験片のひずみ分布

この他のスポット溶接部評価試験として、TSS試験とともにJIS規格で定められている十字引張試験（CTS; Cross Tension Strength）についても、治具を工夫することでスポット溶接部周辺のひずみ分布を取得することが可能です。

### 事例2；コンポーネントに対するDICの適用

母材・接合部材単体の評価にとどまらず、それらを組合せ実製品形状に近づけたコンポーネント部材での評価も盛んに実施されており、DICを適用して任意部位のひずみ分布を取得することが可能です。

ここではコンポーネント部材評価の一例として、自動車補強部材を模して製作されたハット形状部材の3点曲げ試験に対してDICを適用した例を紹介いたします。

試験システムの模擬図を図8に、DICを適用したハット材の縦壁部位のひずみ分布を取得した例を図9に示します。

この試験は静的な試験ではなく、錐体を落下させて実施した動的な試験（落錐試験）です。現象の撮影には高速カメラを適用し、塗布したランダムパターンの変化から部材の変形挙動を捉え、ひずみ分布の変化を観測することが可能です。

このように従来の試験とDICを組み合わせることで評価可能なパラメータは大幅に拡張されており、静的・動的を問わず、規格試験片形状から実体を模したコンポーネントまで適用が可能です。

#### ■コンポーネントに対するDICの適用事例

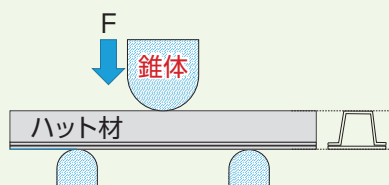


図8 3点曲げ試験模式図

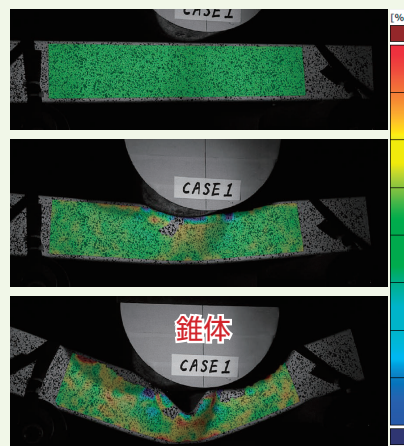


図9 ハット部材縦壁のひずみ分布

#### ■接合部に対するDICの適用事例

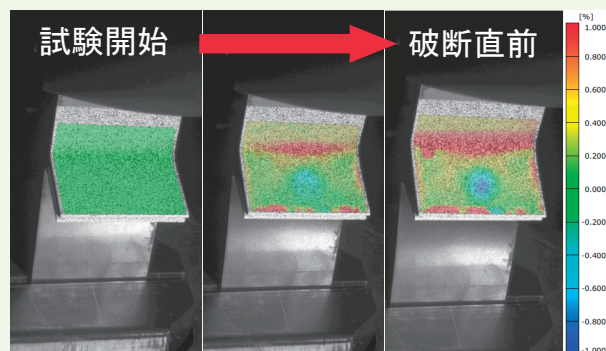


図7 LTS試験片のひずみ分布

#### おわりに

デジタル画像相関法を用いた事例を紹介しました。従来知られているひずみゲージなどによる測定で“点”でしか得られない情報を“3次元”で取得・可視化できることから、その活用範囲は増えています。またCAE（Computer Aided Engineering）で得られるコンター図との比較が容易であることから、その精度検証を含め、利用範囲はますます発展することが予想されます。

ランダムパターンが付与できれば鉄に限らず非鉄・樹脂材料、CFRP・GFRPなどを含むマルチマテリアルの評価にも適用出来る評価手法です。

今回ご紹介した分野以外の活用についても、当社の多彩な試験設備と豊富なドメイン知識を持つスタッフが対応させていただきますので、ぜひお気軽にお問合せ下さい。

#### お問い合わせ先

研究試験事業所

【技術営業部】TEL：0439-80-2691

ml.fu.eigyoun@nstec.nipponsteel.com

【材料特性評価部】

西出 知史

nishide.satoshi.s6y@nstec.nipponsteel.com

中田 友平（事例1、2）

nakata.yuhei.56c@nstec.nipponsteel.com