

デジタル画像相関法によるひずみ計測技術の紹介

1. はじめに

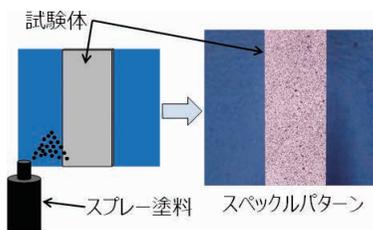
非接触で変位やひずみ分布を計測できる、デジタル画像相関法(Digital Image Correlation、以下DICと記載)と呼ばれる手法が注目されている。DICは、試験体表面に塗装されたスペckルパターンをカメラで撮影し、荷重負荷に伴う試験片の変形前後の相関から変位分布やひずみ分布を解析により計測する手法である⁽¹⁾。一般的なひずみ計測は、局所的な計測が可能なひずみゲージを用いた方法が主流であるが、溶射ゲージを用いてもジェットエンジンなど700℃を超える高温環境下での計測は困難である⁽²⁾。それに対し、DICはカメラを用いた非接触での計測のため、ひずみゲージでは計測が難しい高温環境下⁽³⁾や応力集中部などのひずみ分布計測に適している。

近年では、ひずみゲージを用いた計測だけでなく、DICを用いたひずみ分布計測のニーズが高まっている。当社では、このニーズに対応するため、DIC計測装置を導入した。ここでは、DICの概要とUノッチ試験片を用いた応力集中部の計測結果について紹介する。

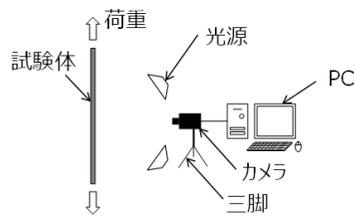
2. DIC計測装置

図1にDICの計測原理の概略図を示す。はじめに、試験体表面にスペckルパターンと呼ばれるランダムな斑点模様を塗装する。次に、CCDカメラなどを用いて、変形前後のスペckルパターンを撮影する。最後に、撮影した画像をサブセットと呼ばれる微小領域(例えば19×19pixelなど)に分割し、変形後の画像について、変形前のサブセット内のパターン分布と同じ分布のサブセットを画

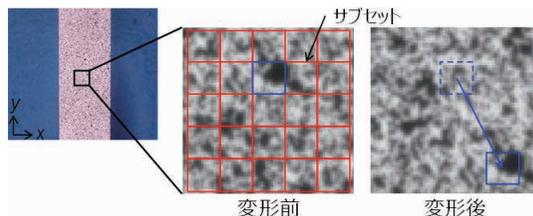
像解析により探査する。これにより、変形前後のサブセットの移動量から、その点における変位を算出する。それを撮影した画像全体に行うことで、変位やひずみ分布を算出する⁽¹⁾。



(a) スペckルパターンの作成



(b) パターンの撮影



(c) サブセット分割および解析

図1 DICの計測原理概略図

図2に導入したDIC装置写真を示す。当社にて導入したDIC装置は、Correlated Solutions社のVIC-3Dである。VIC-3Dは、カメラを2台使用することで、面外方向の変位も計測可能である。

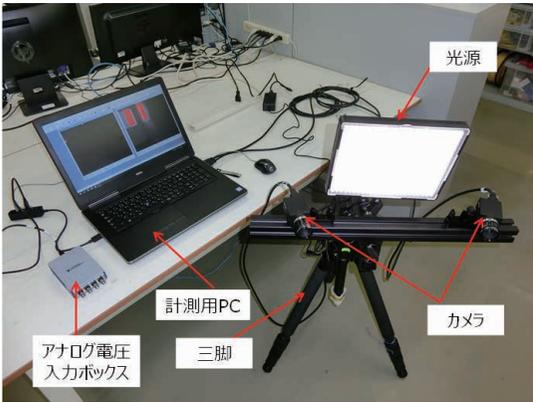


図2 DIC装置写真

3. Uノッチ試験片を用いた引張試験の紹介

引張試験には、SCM440 調質材を使用した。化学成分および機械的性質を表1、試験片形状を

図3に示す。試験片表面には、図1(a)と同様のスペckルパターンを塗装した。図4に塗装後の試験片の写真、図5にDIC装置設置時の写真を示す。

引張試験は変位制御とし、変位速度を2mm/minとした。計測条件は、視野範囲を120×100mm(分解能0.049mm/pixel)、およびサンプリングレートを10Hzとした。計測データは、サブセットサイズを17×17pixel(0.833×0.833mm)に設定して解析し、ひずみ分布を算出した。

引張試験時における時刻歴の荷重軸方向のひずみ分布を図6に示す。この図のとおり、公称応力が増加するにつれてノッチ底にひずみが集中している様子を捉えることができた。また、公称応力 $\sigma_n=307\text{MPa}$ において、DICで求めたUノッチ先端

表1 SCM440 調質材の化学成分と機械的特性

化学成分 [%]									ヤング率	0.2%耐力	引張強さ
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	[GPa]	[MPa]	[MPa]
0.4	0.18	0.62	0.014	0.002	0.09	0.15	1.03	0.17	210	1051	1130

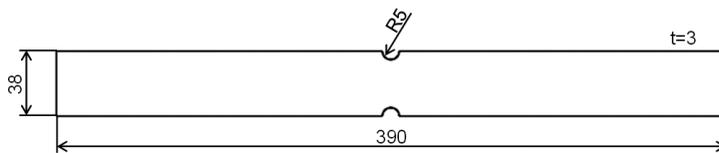


図3 試験片形状

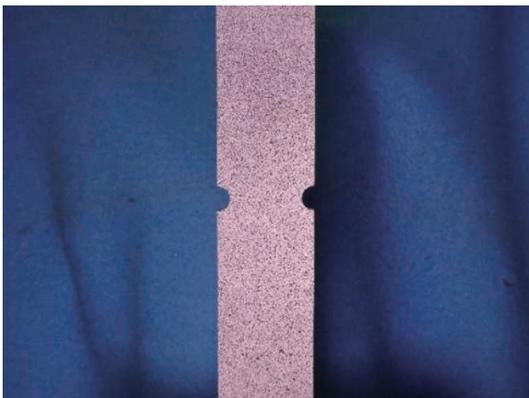


図4 スペckルパターン塗装後の試験片

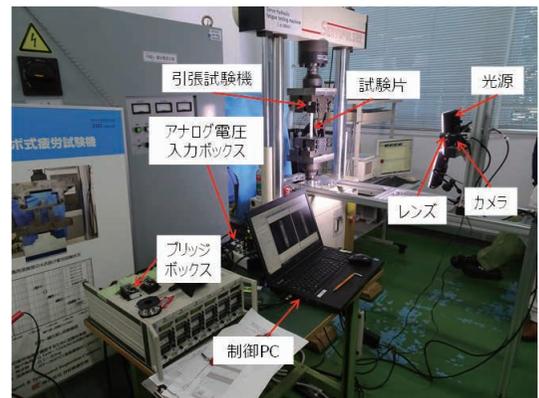


図5 DIC装置設置写真

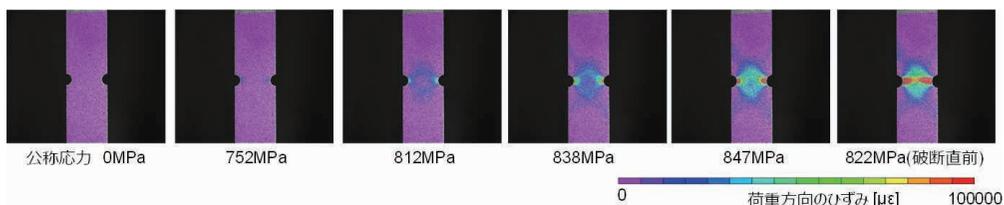


図6 Uノッチ試験片ひずみ分布の時系列変化

の最大ひずみ ε_{max} は $3689\mu\varepsilon$ であった。この時の応力 σ_{max} は、ヤング率 $E=210\text{GPa}$ より

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &= E\varepsilon_{max} = 210 \times 10^9 \times 3689 \times 10^{-6} = 775 \times 10^6 \\ &= 775\text{MPa}\end{aligned}$$

となり、0.2%耐力 (1051MPa) 以下であるので、弾性範囲内であることがわかる。この値から応力集中係数 α は

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n} = \frac{775}{307} = 2.52$$

と算出される。DIC は、サブセットごとの解析であるため、図7に示すように試験片端部のひずみは求められない。そのため、円孔の応力集中係数である $\alpha=3$ より値が低くなったと考えられる。しかしながら、DIC を用いて応力集中部のような大きなひずみ勾配のある箇所のひずみ分布計測が可能であることを確認した。

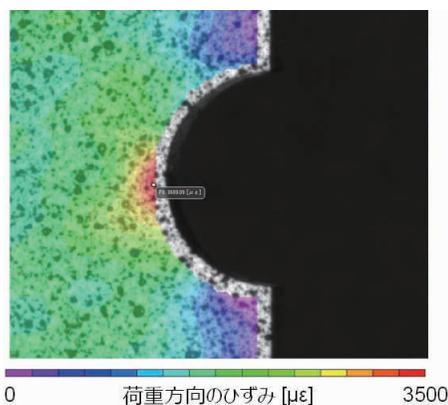


図7 Uノッチ部ひずみ分布拡大図

4. まとめ

当社にて導入したDIC装置の計測原理の概要について紹介し、Uノッチを有する試験片の引張試験結果について紹介した。現在当社では、さまざまな条件下でも高精度な計測結果を提供するため、DICの計測精度の向上に向けた研究に取り組んでいる。

文責

計測事業部 計測技術部 磯子グループ 朝倉 悠太
計測事業部 計測技術部 福浦グループ 及川 秀行
次長

参考文献

- (1) 朝倉悠太、及川秀行：デジタル画像相関法を用いたひずみ分布計測、IIC REVIEW、No.64、2020/10、pp.46-51
- (2) 菅原敏博：溶射ゲージによる静ひずみ測定技術、IIC REVIEW、No.58、2017/10、pp.12-17
- (3) 禹明動：デジタル画像相関法による高温環境下の変位・ひずみ分布計測、第51回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集、2020、pp.1-4