

画像解析による面的計測技術の開発と腐食鋼材の挙動解析への適用

非会員 中島 千尋

愛媛大学大学院 正員 大賀水田生

愛媛大学大学院 正員 全 邦 釘

1. はじめに

近年、鋼橋の腐食による損傷事例が数多く報告されている¹⁾。腐食は鋼材にとって避けることのできない劣化現象であり、腐食が進展すると板厚の減少により構造物の強度や剛性は低下する。しかし、腐食によって生じる板厚の減少等が力学的挙動に及ぼす影響に関しては多くの未解明な部分が存在する。従来のひずみゲージを用いた点的な計測方法では腐食鋼板のような力学的挙動が未解明な部材の試験においては、十分なデータが得られないことが考えられる。したがって、このような場合、面的に変形を捉え、全視野的にひずみ分布を測定する面的計測方法が有効である。そこで、本研究ではデジタルカメラを用いて面的に変形挙動を追跡するシステムを構築し、腐食鋼板の破壊挙動に対する定性的な知見を得ることを目的とする。

2. 腐食鋼板の引張試験

引張試験に用いた2体の供試体は、撤去された実橋梁（船越運河橋，餘部鉄橋）から採取し，作成した。図-1の(a)，(b)に2体の供試体の外観を示す。また，供試体表面に規則的に点をマーキングした。マーキング後の供試体を図-1の(a)，(b)に示す。引張試験は一定速度載荷（0.23kN/s）で行い，撮影は弾性域では荷重 5kN ごとに，塑性域ではストローク 2mm ごとに行った。図-2に複数の孔食を持つB-1供試体の引張試験における荷重－変位曲線を示す。図-2からは明瞭な降伏棚は確認できず，複雑な挙動を示している。また，ピーク荷重に達すると同時にクラックが発生，クラックの進展とともに徐々に荷重が低下，破断に至っている。中央に大きな孔食のあるB-2供試体においても複雑な挙動を示している。

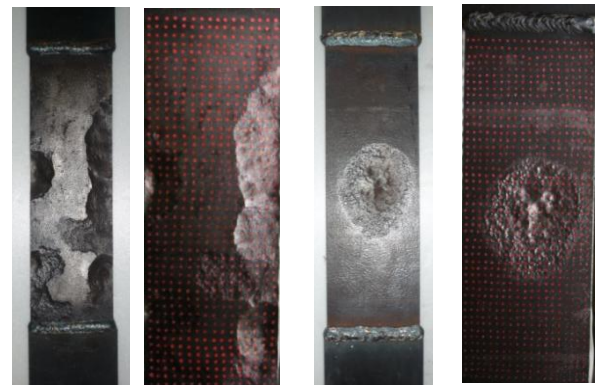


図-1 外観およびマーキング後の供試体

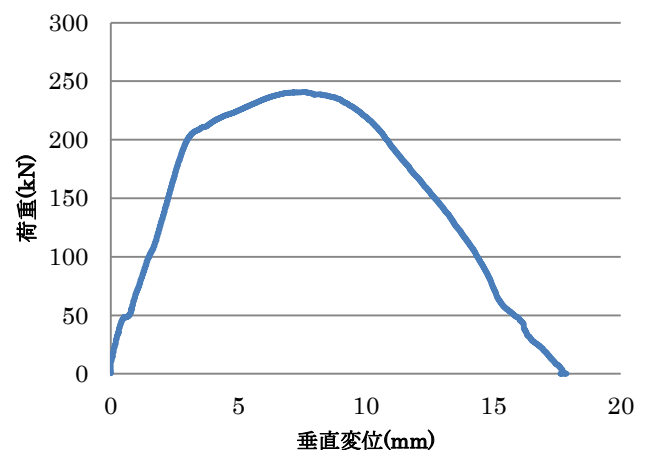


図-2 荷重－変位曲線（B-1）

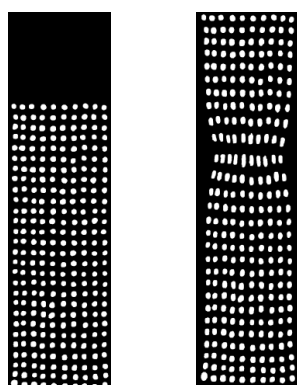
3. 画像解析手法

3. 1. 二値化

撮影画像を256階調グレースケール画像に変換し，さらに以下に述べる大津の方法²⁾を用いて二値化画像に変換した。大津の方法は判別分析により閾値を求める方法である。グレースケール画像の輝度値ヒストグラムにおいて，ある輝度値を閾値としたときに分けられる二つのクラスのクラス間分散を計算し，それが最大となる輝度値を最適な閾値とする方法である。

3. 2. 点追跡

載荷前後の二値化画像において、マーキングした点の重心座標を求め、対応する点の重心座標の差からマーキングした点の変位を求める。また、マーキングした点を節点とする三角形要素を作り、三角形要素内の画素の変位を導出した³⁾。図-3に変形前後の二値化画像の例を示す。



(a) 変形前 (b) 変形後

図-3 変形前後の二値化画像の例

3. 3. ひずみの算出

得られた変位量からひずみを求めた。隣り合う画素を節点とする三角形要素を作り、節点の変位と座標から三角形要素内の y 方向(荷重軸方向) ε_y 、 x 軸方向 ε_x 、せん断ひずみ γ_{xy} を求めた³⁾。また、これらのひずみから、以下の式より相当ひずみ Y を算出した。

$$Y = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 - \varepsilon_x \varepsilon_y + 3\gamma_{xy}^2} \quad (1)$$

4. 画像解析結果

図-4に解析によって得られたB-1の各荷重段階における y 軸方向ひずみ分布を示す。また、図-5にクラック発生直前の相当ひずみ分布と破断後の供試体を示す。図-4より、降伏点以前の荷重段階においては左端の孔食でひずみが増大していることが確認できる。210kNにおけるひずみ分布から、降伏点を境にひずみが増大している断面が確認できることからこの斜めの断面が降伏したと考えられる。降伏点後の荷重段階では再び左端の孔食でひずみの増加が顕著となり、ひずみが一様に増加している断面が他にも発生していることが確認できる。図-5から、クラック発生位置と

相当ひずみが増加している位置は一致している。従来、腐食鋼板の引張の降伏においては最小断面で降伏するとされていたが、B-1 供試体において、本研究の面的な計測手法により導出したひずみ分布図では斜めに降伏断面が広がっており、従来考えられていた挙動とは異なる挙動を示すことを実験的に示すことができた。

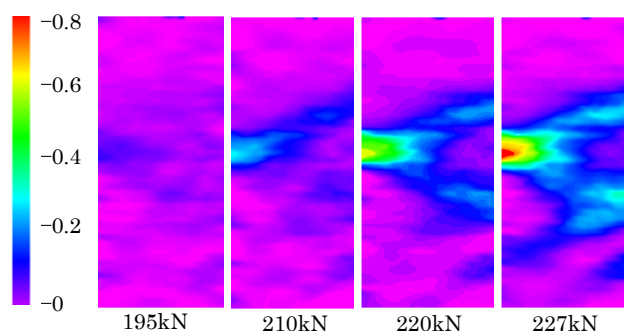


図-4 y 方向ひずみ分布 (B-1)

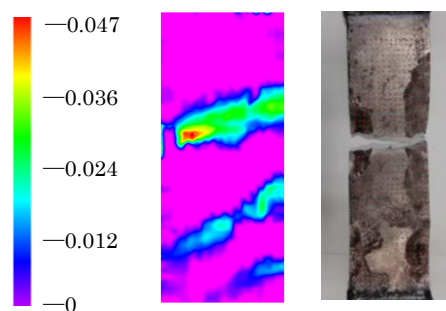


図-5 クラック発生直前の相当ひずみ分布と破断位置の比較 (B-1)

5. 結論

本研究では、デジタルカメラを用いて面的に変形挙動を追跡する画像解析システムを構築し、腐食した鋼材の引張試験における各荷重段階のひずみ分布を計測した。また、計測したひずみ分布から従来とは異なる知見を得ることができた。

参考文献

- 1) 名取暢：鋼橋の腐食事例とその対策，第1回鋼構造物の維持管理に関するシンポジウム資料集，pp.63-70，1999.
- 2) 大津展之：判別および最小2乗基準に基づく自動しきい値選定法，電気通信学会論文誌，Vol.J63-D，No.4，pp.349-356，1980.
- 3) 吉野雅彦：Excelによる有限要素法入門，朝倉書店，2002.