

ステレオグラフィーによる腐食形状の3次元計測に関する研究

名古屋大学 学生員 判治 剛
名古屋大学 正員 館石和雄

1. はじめに

鋼材に生じた腐食の形状を、画像計測によって測定することを試みた。市販のデジタルカメラのレンズ部にステレオグラフィー撮影用のステレオアダプターを取り付け、記録した画像にステレオ法¹⁾を適用することによって、腐食形状を定量化する。ステレオ法とは、対象物を同時に異なる角度で記録した2枚の画像から、その3次元形状を測定する手法である。デジタルカメラを図-1に、ステレオアダプターの原理を図-2に示す。測定結果をレーザー変位計による測定値と比較することにより、本手法の腐食表面への適用性を検証した。



図-1 デジタルカメラ

2. 標定計算

本研究では内部標定要素として、写真中心と主点のずれ、画面距離、レンズディストーションを考慮しており、この場合、図-3に示す対象点Pの地上座標 (X, Y, Z) と、それを撮影した写真上での座標(写真座標) (x, y) との間には次の関係がある²⁾。

$$x = -f \frac{a_{11}(X-X_0) + a_{12}(Y-Y_0) + a_{13}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0) + a_{32}(Y-Y_0) + a_{33}(Z-Z_0)} + x_p - \bar{x}_1(k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad (1a)$$

$$y = -f \frac{a_{21}(X-X_0) + a_{22}(Y-Y_0) + a_{23}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0) + a_{32}(Y-Y_0) + a_{33}(Z-Z_0)} + y_p - \bar{x}_2(k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad (1b)$$

$$\bar{x}_1 = x_1 - x_{p1}, \bar{x}_2 = x_2 - x_{p2}, r^2 = \bar{x}_1^2 + \bar{x}_2^2$$

ここで、 (X_0, Y_0, Z_0) : 投影中心, f : 画面距離(焦点距離), a_{ij} : ω, ϕ, κ からなる回転行列, ω, ϕ, κ : X, Y, Z 軸まわりの回転角, x_p, y_p : 主点のずれ, k_1, k_2 : ディストーション補正係数, である。

試験片の計測に先立って、地上座標 (X, Y, Z) が既知のカメラキャリブレーション用基準体を撮影し、(1)式に最小二乗法を適用することにより標定要素を求めた。

3. ステレオグラフィーの原理

図-4に示すように、試料表面の3次元座標 $P(X, Y, Z)$ を左右2つの視点から見た場合、左右両像の各スクリーン上にとった座標において、点はそれぞれ $(x_L, y_L), (x_R, y_R)$ と異なる位置に観察される。左側の画像(以後、左画像)を基準に取った場合、左画像上の点 (x_L, y_L) に対応する点 (x_R, y_R) を右側の画像(以後、右画像)上から探し、画像上の全ての点において対応付けをすれば、点Pの座標 (X, Y, Z) は(1)式の関係を利用して逆により、最小二乗法によって求めることができる。したがって、ステレオグラフィーにおいて、左右画像上で同一点の対応を精度よく求めることができるかが重要な問題となる。

4. 対応付け手法

本研究では、対応付け問題を解決するために領域ベース法を用いた。領域ベース法は、画像上のある領域

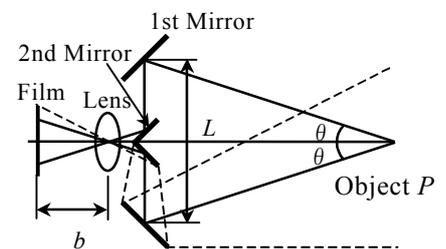


図-2 ステレオアダプターの原理

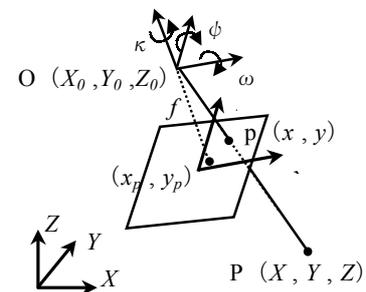


図-3 座標系

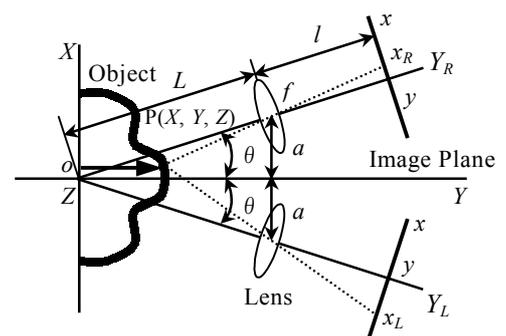


図-4 ステレオグラフィーの原理

キーワード：腐食, 3次元計測, ステレオグラフィー

連絡先：〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-3741

(ウィンドウ)間の相関をとることにより、両画像の対応領域を求める手法である。その概要を図-5に示す。今回は、左右画像上で対応領域を探索するためにデジタル相互相関法を用いた。デジタル相互相関法は、画像間の類似性を相関の強さにより数値化し、相関が最大となる箇所を対応領域とする手法である。左画像上の各ウィンドウについて次式を用いて右画像との濃淡値の相関をとる。

$$C = \frac{1}{mn} \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (I_L(i, j) - \mu_L)(I_R(i, j) - \mu_R)}{\sqrt{\sigma_L^2 \sigma_R^2}} = \frac{\sigma_{LR}^2}{\sqrt{\sigma_L^2 \sigma_R^2}} \quad (2)$$

ここで、 $I_L(i, j)$, $I_R(i, j)$: 左右画像上のウィンドウ内の濃淡値,
 $\mu_L, \mu_R, \sigma_L, \sigma_R$: 左右両ウィンドウ内の濃淡値の平均および分散, σ_{LR} :
 両ウィンドウ内の濃淡値の共分散, である。

C は相関値であり、-1から+1まで変化するパラメータである。 C が最大となるとき、両ウィンドウの濃淡値パターンが類似するとして、左右画像間の対応するウィンドウとみなすことができる。そして、ウィンドウの対応関係から画像の最小分割単位である画素の対応関係を算出し、これより対象物の3次元形状を求めることができる。

5. 測定方法

カメラキャリブレーションと同様のカメラ設置条件で試験片を記録した。試験片は55×40×20(mm)であり。記録した画像を図-6に示す。記録した画像の解像度は2160×1440である。試験片とレンズの距離は約350mmであり、このカメラ設置条件では1画素は約0.089mm、共通視野領域、つまり両画像に写し出される共通な対象空間上の領域は約125×75(mm)である。今回は、画像計測とレーザー変位計はともに0.1mmピッチで測定した。

6. 測定結果

測定結果を図-7に示す。また、ある位置 x における画像計測結果とレーザー変位計の測定値の比較を図-8に示す。グラフの形状から断面の形を比較すると、凹凸程度が大きい箇所では良く一致しているが、凹凸程度の小さい箇所では、正確性に欠ける箇所がいくつかあり、画像計測では非常に微小な凹凸をとらえることができないことがわかる。このことから、本手法を用いて疲労について評価することは困難であるが、腐食による平均的な断面欠損を測定することが可能であり、部材の耐久性の評価に有効であると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、日本鋼構造協会 鋼橋の性能照査型設計対応研究委員会 鋼橋の腐食・LCC部会(主査 藤野陽三(東京大))のご指導を賜りました。また、名古屋大学伊藤研究室には、レーザー変位計を貸していただき、横河ブリッジの名取嶋氏には試験体を提供していただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 山口証, 高地和隆, 井口征士: 石像の3次元計測のためのステレオ対応付け, 電子情報通信学会論文誌, D-2 情報・システム 2-情報処理, 81(4), pp.716-725, 1998, 4
- 2) 村井俊治, 奥田勉, 中村秀至: 非測定用カメラを用いた解析的写真測量に関する研究, 東京大学生産技術研究所報告, 29(6), pp.196-209, 1981, 7

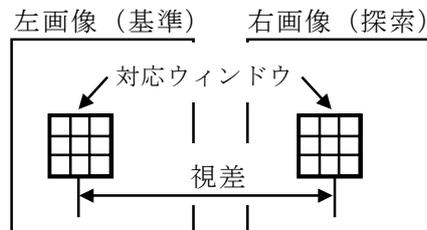


図-5 対応付けの概要

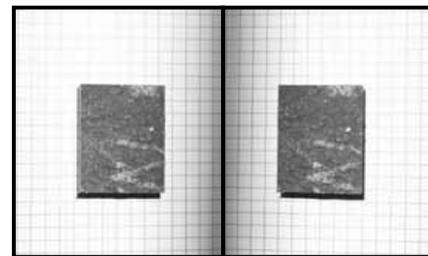


図-6 記録した画像の例

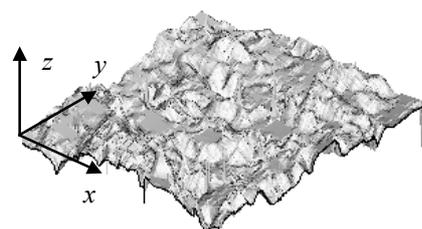


図-7 画像計測結果

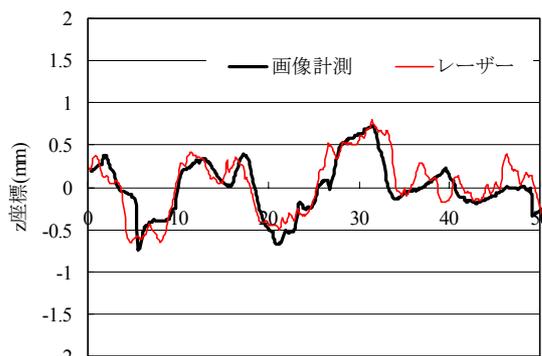


図-8 測定精度の検討