

三次元画像計測によるひずみ場の評価法とその精度

大成建設株式会社 正会員 ○松崎 拓也
 東京大学大学院 学生員 西川 貴文

山梨大学 正会員 吉田 純司
 東京大学大学院 フェロー 藤野 陽三

1. はじめに

画像解析を用いた計測は、非接触で面的に計測することが可能であるため、挙動が境界条件によって著しく変化する対象や、代表点によるサンプリングでは把握できない挙動に対して非常に有効である。この特長に着目し、薄膜やゴム材、皮膚や臓器など、接触・追従による計測が困難であるフレキシブルな材料、ひずみの大きい対象に発生するひずみ場を、三次元画像計測を用いて巨視的かつ微視的に精度良く解析、評価する手法の開発を目的に、①ランダムパターンを用いた、膜材の挙動の三次元座標復元、②高い復元精度が求められるひずみレベルでの精度検証を行い、三次元画像計測によるひずみ場の評価法とその精度について考察した。

2. 膜を用いた画像計測実験

(1) 供試体、計測システム

本実験では、主に構造物に利用されている高分子化合物の中で微小ひずみの範囲で概ね等方弾性体とみなせ、温度・速度依存性がほとんどなく、かつ変形後も残留変形が小さいゴム膜を対象とした。供試体の100mm幅の計測領域にはスプレーによる擬似ランダムパターンをつけた(図-1)。供試体の裏面には、三次元画像解析によって得られるひずみ場の精度を検証するために、格子状に標点を設けた。撮影には、400万画素/16[frame/sec.]のCCDカメラを、計測面3台、裏面1台の計4台用いた(図-2)。

(2) 実験概要

計測では、アクチュエータによる変位制御引張荷重を行い、0~10%程度のひずみを発生させ、変位間隔1mmで4台全てのカメラで同時に計測した。計測時の画像の空間分解能は1pixelあたり約0.1mmであった。

3. 対応点の探索・追跡

3台のCCDカメラの同時刻取得画像における同一点を探索することで各画像座標の対応付けを行う。さらに対象の変形を時系列的に復元するために、その対応点



図-1 ゴム膜供試体

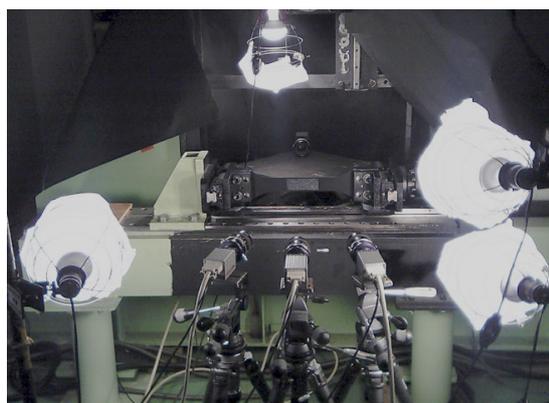


図-2 計測システム

を時刻歴で追跡する。

3.1 相互相関法によるマッチングを用いた探索・追跡

まず、各対応点座標の探索を、テンプレートマッチングによって行った。マッチングの判定については、対象の変形が大きいこと、照明の配置により画像間に輝度差が生じやすいという本実験の状況を考慮し、残差逐次検定方法などと比べ計算量は多いが、輝度値の分布を利用するため照明等の影響が小さいという利点を有する相互相関法を用いた。

(1) テンプレート画像の幾何操作

テンプレート画像と同サイズの探索窓を動かし、テンプレート画像と探索画像の輝度分布に関する相関値を最大とする位置を探索する。本研究ではテンプレート画像の拡大・縮小・回転を考慮に入れたマッチングを行った。さらに、これらの幾何操作によって生じる小数点座標上の輝度値を、近接する整数座標を用いて4節点要素の形状関数によって算出した。これにより、対象の変形の自由度が大きく、また、撮影距離や角度の差が各カメラ間で大きい場合に困難となる探索処理を、効率的でか

キーワード：三次元画像計測、ランダムパターン、画像相関法、実数値 GA

連絡先：〒163-0690 東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社土木本部 TEL03-5381-5278

つ精度良く行うことが可能となった。

(2) 領域の探索

正面中央の CCD カメラにより撮影された初期(載荷前)の画像上の 40[pixel]×40[pixel]のサブセットをテンプレート画像とし(図-3), 各カメラの全時刻の画像について, 画像相関法により適合する領域の探索を行い, 各対応点の座標を算出した。

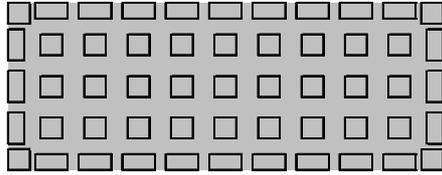


図-3 計測領域の探索領域分割(サブセット)

3.2 粒子追跡法を用いた探索・追跡

画像の輝度分布を用いたテンプレートマッチングとは異なる手法としてさらに, 画像中に分布する輝度を持った粒子自体を追跡する粒子追跡法を用いた。適用にあたっては, 本実験がスプレーによるランダム模様を用いていることから, 各点の認識や分離をいかに精緻に行うかが課題となった。

(1) ラベリングと追跡点の決定

粒子の分離を目的に, テンプレートマッチングと同様に作成したサブセット内において局所的二値化を行い, 連結粒子毎に番号を振り分けた(ラベリング, 図-4)。その画像に対し, 各粒子の重心, 面積, 輝度面積, 円形度をそれぞれ算出し, 良好な粒子を追跡点とした。

(2) 対応点の探索と追跡

本研究における粒子追跡法では, まず各カメラの画像に対して平行化処理を行い, 基準となる画像上において各領域の中から追跡を行う 1 点をそれぞれ抽出し, 対応画像それぞれに対して粗探索画像相関法を用いて対応する領域を決定した。次に, 領域内において追跡点に対応する点を探索・追跡する手法を採った。さらに, 対応点の座標値をより精緻に算出するために, 探索された点を中心に再度領域を作成した上で局所的二値化を行い, 重心を再算出した。この方法により, 探索の効率化と精度向上を図ることが可能となった(図-5)。

4. 実数値 GA による最適化問題としての探索

画像相関法を用いた探索では, x-y 座標値に加え, 回転, 拡大・縮小の 4 つのパラメータが存在し, またランダムパターンを用いていることから, 多峰性の最適化関数

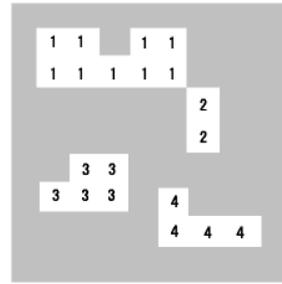


図-4 ラベリング画像

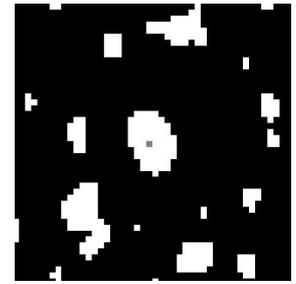


図-5 良好な探索点

を扱うことになる。そこで, 近年開発された実数値 GA と呼ばれる手法を用いることで, より効率的に安定した解を得ることを可能とした。

5. 三次元座標の復元とひずみ場の算出

以上の探索・追跡処理によって得られた対応点をもとに, ステレオ画像による両眼視処理によって, 供試体の挙動を三次元座標で復元した(図-6)。さらに, それをもとに差分法を用いてひずみ場の算出を行った(図-7)。

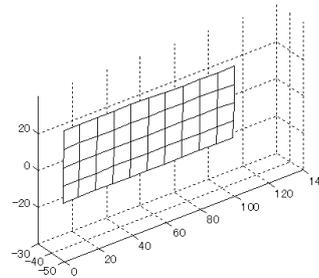


図-6 復元座標

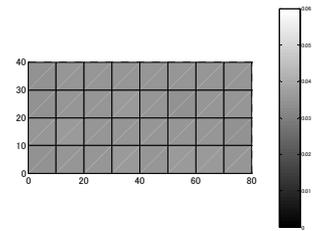


図-7 復元ひずみ場

6. 解析手法の検討とひずみ場の評価

ひずみ場の精度検証を行った結果, ランダムパターンを有する対象の画像計測によるひずみ場の復元は, 相互相関法によるパターンマッチングが適しており, その精度は非常に高いことが明らかとなった。粒子追跡法に関しては, 初期画像での連結粒子の分離と追跡点の選択が精度の面で支配的であることがわかった。

7. まとめ

三次元画像計測によるひずみ場復元の精度を検証し, 実数値 GA を組み込んだ画像相関法が非常に有用であることを示した。また, 分離問題を解消することが出来れば, 計算時間の短い粒子追跡法は動的変形問題への拡張性の面で期待できることを示した。

参考文献

- ・熊野史朗 膜の動的変形を対象とした画像計測システムの構築 宇宙構造・材料シンポジウム 2003