

## 画像解析を利用した膜の振動計測

東京大学大学院 学生員 熊野史朗  
 東京大学大学院 正会員 阿部雅人  
 東京大学大学院 フェロー会員 藤野陽三  
 東京大学大学院 正会員 吉田純司

### 1. はじめに

膜構造は軽量で収納性が高いため、ドーム型構造物や宇宙空間におけるソーラーセイルなどの大規模構造物に広く利用されている。そのため以前から、数値計算により膜の挙動を予測する試みがなされている<sup>1),2)</sup>。しかし、これまで大変形する膜の変形場を計測する手段がなく実験データが希少である。このことから、これらのモデルは定量的に検証されておらず、解析のみで設計を行うほどの十分な精度を有していない<sup>2)</sup>。そこで本研究では、膜の動的な挙動を定量的に把握するための画像計測システムを構築することを目的とする。

### 2. 画像計測システム

本研究では、膜を1辺あるいは2辺で固定し、風力を与えることによって振動させ、それを3次元的に計測する実験を行った。風力はファンによって発生させている。膜に作用する平均風速を簡易風速計によって測定すると同時に、膜の変形により境界部に作用する荷重をひずみゲージによって計測している。膜には、膜上の点を互いに区別するためにスプレーによってランダムな模様を付けている。画像は高解像度 CCD カメラにより撮影し、レイドシステムを採用したハードディスクに直接記録している。照明用の電源には直流電源を使用している。これは、交流電源での照明の点滅による膜の輝度の変化を生じさせないためである。また、レーザー変位計により膜のある一点の変位を計測し、これを画像解析によって算出された変位と比較することにより本画像計測システムの精度を検証する。

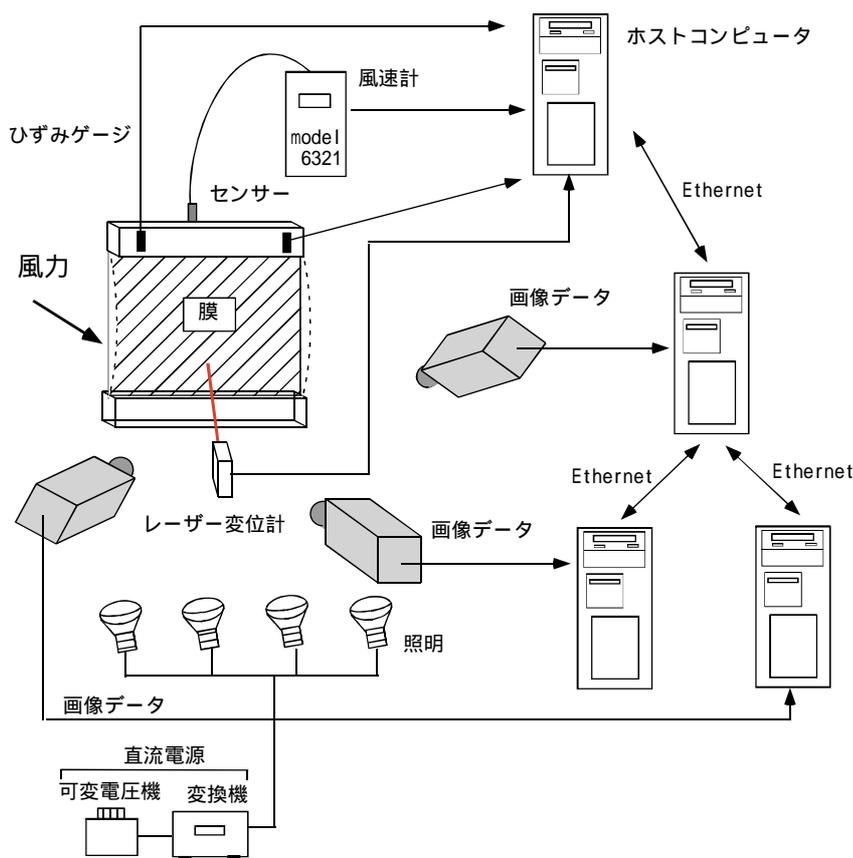


図-1 に本計測システムの全体図を示す。

図-1 計測システムの全体図

### 3. 画像計測手法

膜の3次元画像計測は下記の ~ の手順によって行う。

#### 膜の振動計測

複数台の CCD カメラを任意の位置に設置し、膜に風力を当て振動させ、それを計測する。

#### カメラ標定<sup>3)</sup>

各カメラの位置と方向を同定するために、カメラ標定を行う。これらは、3次元座標が既知の標点を複数撮影することによって求まる。実際の標定では、白色点を描いた黒色の鋼板を、板の面外方向に移動させ3次元的に分布する標点を作成した。これを撮影した画像を2値化した後、白色を示す領域群のなかから、以下の条件を用いて標点のみを抽出した。

- 1) 重心から白色の境界部までの最大距離があるしきい値以下である。
  - 2) 重心から白色の境界部までの最大距離と最小距離の比が1に近い値をとる
- ステレオ画像の平行化<sup>4)</sup>

得られたステレオ画像を平行化する。平行化とは、任意のステレオ画像をあたかも平行に並べたカメラで撮影

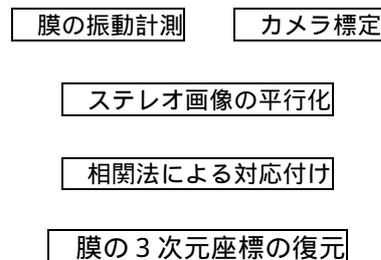


図-2 画像計測の手順

キーワード：膜の振動，画像計測システム，ステレオ画像，3次元画像計測，大変形

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学 TEL:03-5841-6099 FAX:03-5841-7454

したかのようなステレオ画像に変換することである．平行化された画像では対応点の鉛直座標が等しくなるため，対応点の探索は画像の水平軸に沿って行えばよい．またこの変換は，量子誤差，画像のスケールおよび剛体回転等の影響を含んでいるため，対応点の探索が容易になる．

相関法による対応付け<sup>4)</sup>

両画像における対応点を相関法により探索する．相関法とは，片方の画像の1点にそこを中心とする適当なサイズのウィンドウを設定し，他方の画像のエピポーラ線上でウィンドウを動かしたときに，その類似度が最も高くなる位置を求め，そのウィンドウの中心を同一点とする手法である．

膜の3次元座標の復元

最後に得られた対応点を用いて射影方程式を解き，3次元座標を算出する．

以上の手法の手順を図-2 にまとめて示す．

#### 4．計測結果と考察

矩形の膜を一边固定の境界条件により支持し，ファンによる風力を作用させて大変形させ，その変形を本文2節で示した計測システムにより計測した．図-3に膜の振動の様子を計測した画像の一例に示す．次いで，得られた画像に上述した画像解析手法を適用し，膜の3次元位置を復元した．図-4に風力を作用させ始めた後，10秒経過したときならびに20秒経過した後の膜の3次元位置を示す．図-4をみると計測点の中には，明確に誤った座標位置にある点が見られる．これは，相関法によるステレオ画像の対応付けにおいて近傍に偶然に似通った模様が存在し，誤った対応付けを行ったためであると考えられる．今後，このステレオ画像における点对応の曖昧性を低減させる手法を利用し，精度の向上を行う予定である．

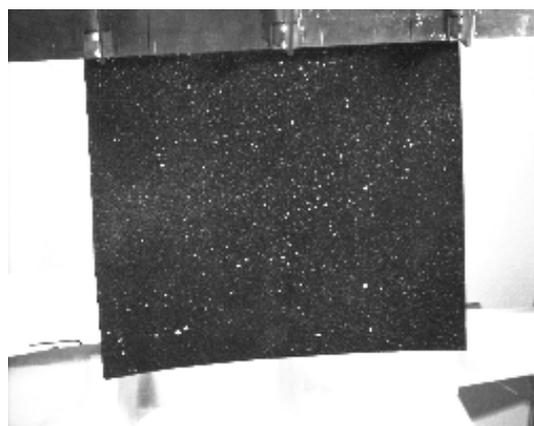
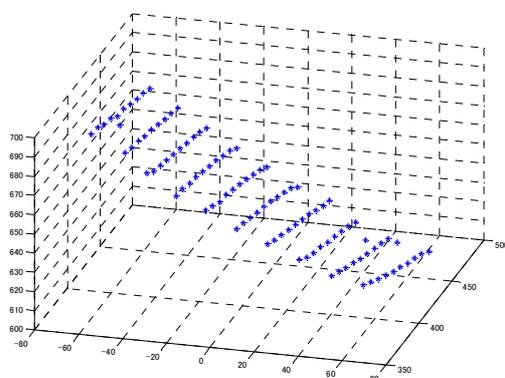
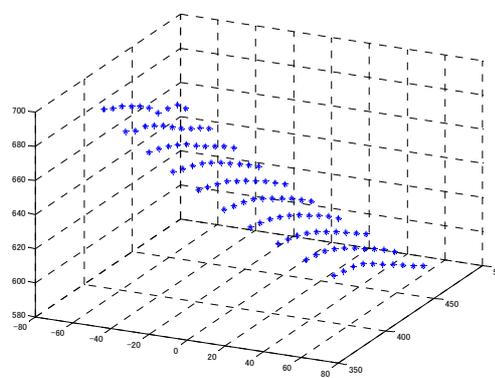


図-3 振動する膜の状態



(a) 10 秒後 [mm]



(b) 20 秒後 [mm]

図-4 画像解析により復元した膜上の点の3次元位置

#### 5．まとめ

本研究では，膜の動的な変形を計測するための3次元画像計測システムを構築した．また，得られた画像から，3次元座標を復元するためのコードを開発した．現在のところ3次元座標の復元は可能であるものの，精度については十分とは言えず，今後ステレオ画像の対応付ける手法などを改善しているつもりである．

参考文献： 1) 張衛紅：膜構造の座屈後解析に関する研究，博士論文，東京大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻，2001． 2) 成澤泰貴：膜の挙動解析のための要素モデルに関する研究，修士論文，東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻，1998． 3) 西野耕一：PIVハンドブック，森北出版． 4) 徐剛，辻三郎：3次元ビジョン，共立出版，1998．