

要 旨

ステレオ画像による形状測定法の一つである微分両眼視法を改良し、座標値と面法線を同時に測定することのできる改良型微分両眼視法を提案する。本報ではその測定原理を示し、傾斜平面と円筒面の測定を想定したシミュレーションを行って、提案した方法の有効性を示すとともに、その測定精度（誤差）について検討する。

1. 緒言

通常のステレオ画像による測定では、測定面上の1点に対応する左右画像上の点を求める必要があるが、微分両眼視法では厳密な対応づけを必要とせず、画像の濃度値のみを利用して測定が行えるという利点がある。しかし、従来の方法では、座標値だけが測定できるので、面法線は測定後に着目点近傍の測定値を処理して求める方法がとられる。これに対して本研究では、座標値と面法線とを同時に測定することのできる改良型微分両眼視法を提案する。本報では改良型微分両眼視法の原理を示し、その有効性と測定精度を2次元でのシミュレーションより検討する。

2. 改良型微分両眼視法の原理

図1に示すように、xy平面（基準面）に正対してこの平面から距離Hの位置に、間隔Dで2台のカメラがx軸に平行に置かれている系を考える。対象物表面の基準面からの高さh(x, y)は小さく、表面は滑らかであり、適度な濃度分布f(x, y)があるものとする。左右のカメラが基準面上の点(x, y)を捉えようとしたとき、実際に両カメラが捉える点の座標は微小ずれを伴って、

$$x_L = x - \Delta_{xL}, \quad y_L = y - \Delta_{yL}, \quad x_R = x + \Delta_{xR}, \quad y_R = y + \Delta_{yR}$$

で与えられる。左右両画像をf_L(x, y)、f_R(x, y)と書き、左右両カメラが撮像まで受ける微小な濃度変化をξ_L、ξ_Rとして

$$\bar{f}(x, y) = \frac{\xi_R + \xi_L}{2} f(x, y), \quad \xi = \frac{\xi_R - \xi_L}{\xi_R + \xi_L}$$

を導入すると、

$$f_R(x, y) = f(x_R, y_R) = \xi_R f(x + \Delta_{xR}, y + \Delta_{yR}) \\ \approx (1 + \xi) \bar{f}(x, y) + \Delta_{xR} \bar{f}_x(x, y) + \Delta_{yR} \bar{f}_y(x, y) \quad (1)$$

$$f_L(x, y) = f(x_L, y_L) = \xi_L f(x - \Delta_{xL}, y - \Delta_{yL}) \\ \approx (1 - \xi) \bar{f}(x, y) - \Delta_{xL} \bar{f}_x(x, y) - \Delta_{yL} \bar{f}_y(x, y) \quad (2)$$

を得る。ここで \bar{f}_x 、 \bar{f}_y はそれぞれ \bar{f} のxとyに関する偏微分である。着目点付近の曲面を斜面

$$h(x, y) = Ax + By + C \quad (3)$$

で近似すると、式(1)、(2)から次式が得られる。

$$f_- = \xi f_+ + \frac{Dh(x, y)}{2(H + Ax + By)} f_x \quad (4)$$

ここで、f₊=f_R+f_L、f₋=f_R-f_L、f_xはf₊のxに関する偏微分である。式(4)はA、B、C、ξに関する非線形の式なので、A₀、B₀、C₀、ξ₀をそれぞれの推定値として

$$A = A_0 + \Delta A, \quad B = B_0 + \Delta B, \quad C = C_0 + \Delta C, \quad \xi = \xi_0 + \Delta \xi \quad (5)$$

とおき式(4)を1次の微小量で近似すると次式を得る。

$$a_i \Delta A + b_i \Delta B + c_i \Delta C + d_i \Delta \xi + m_i = 0 \quad (6)$$

ここで局所最小自乗法を用い、着目点近傍Γ内で

$$J = \int \int \int (a_i \Delta A + b_i \Delta B + c_i \Delta C + d_i \Delta \xi + m_i)^2 dx dy \\ = \text{minimum} \quad (7)$$

を満たすΔA、ΔB、ΔC、Δξを求める。

さらに、求めた解を式(5)に代入し得られたA、B、C、ξを新しい推定値として繰り返し計算を行い、収束した値を解A、B、C、ξとする。A、Bから面法線が求められ、解を式(3)に代入すると高さhが求められる。

従来の方法では曲面を局部的に高さ一定(A=B=0)の平面で近似するので、式(4)は線形となる。

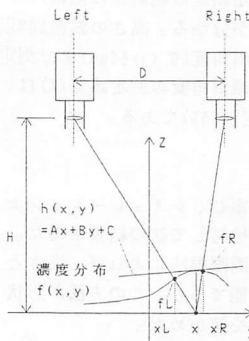


図1 微分両眼視法の原理図

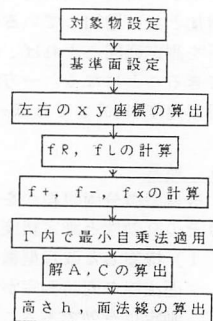


図2 高さ面法線の処理フロー

3. シミュレーションによる検討

提案した方法の有効性と精度を調べるために2次元の曲面の測定を想定したシミュレーションを行った。シミュレーションの条件は $H=700\text{mm}$ 、 $D=74\text{mm}$ 、 x 方向の測定単位は1画素(0.57mm)、近傍領域は予備的なシミュレーション結果から 11×11 画素とし、着目点の基準面からの高さが常に一定($h_0=1\text{mm}$)になるように基準面を設定した。測定対象は $15^\circ \sim 60^\circ$ の傾斜角度をもつ斜面と半径 80mm の円筒面とし、その表面に正弦関数で濃淡模様を与えた。処理のフローを図2に示す。

4. シミュレーション結果とその検討

傾斜角度 15° の斜面に対するシミュレーション結果を図3～図5に示す。従来法の結果(図3)では座標値 x に比例して誤差が増大するのに対して、改良型では座標値 x に関係なく高さの誤差は一定(0.025mm 程度)である(図4)。また傾斜角の誤差も 15° に対して $0.4'$ 以下で、ほぼ一定の精度で測定することができる(図5)。改良型で傾斜の異なる斜面を測定した場合の傾斜角度と測定誤差(%)との関係を表1に示す。

表より高さの誤差(%)は傾きの増加と共に増加するが、傾きの誤差(%)はほぼ一定であることが分かる。

傾斜角度	高さの誤差	傾きの誤差
15°	2.5%	2.7%
30°	3.0%	2.5%
45°	4.0%	2.2%
60°	8.0%	2.3%

表1 傾斜角度と測定誤差

円筒面に対するシミュレーション結果を図6、図7に示す。高さや傾斜角の測定誤差の絶対値は傾斜角の増加と共に増加しているのが分かる。高さの誤差10%以下を測定範囲とすれば、傾斜角度 50° ($x=62\text{mm}$)まで測定できることになる。一方、傾斜角度の測定誤差(%)は、傾斜角度が 50° までほぼ一定(2.5%)である。

5. 結言

改良型微分両眼視法を提案し、シミュレーションよりその有効性と測定精度を検討して次の結果を得た。

- 1) 提案した改良型微分両眼視法によれば、高さや面法線の同時測定が可能であり、この方法が形状測定に有効であることを確かめた。
- 2) 斜面の測定では座標値 x に関わらずほぼ一定の精度で高さや傾斜の測定ができることを示した。
- 3) 斜面では測定可能な傾斜角の範囲内を、円筒面では、接線の傾斜角が 50° 以下の点までを、測定誤差10%以下で測定できることを示した。

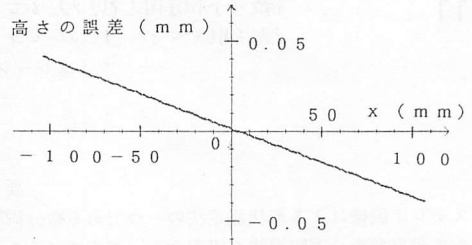


図3 斜面(傾斜角 15°)の高さの測定誤差(従来法)

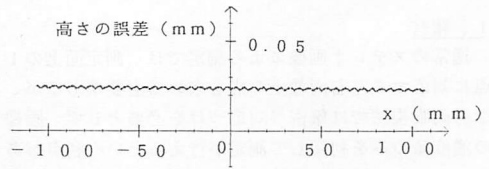


図4 斜面(傾斜角 15°)の高さの測定誤差(改良型)

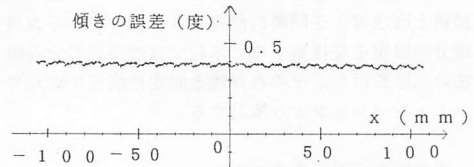


図5 斜面(傾斜角 15°)の傾斜角の測定誤差(改良型)

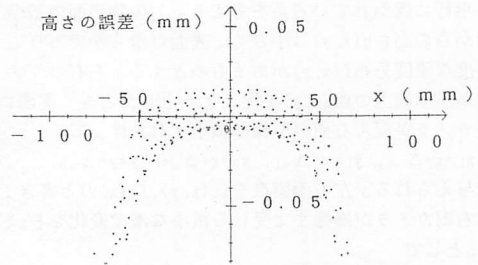


図6 円筒面($r=80\text{mm}$)の高さの測定誤差(改良型)

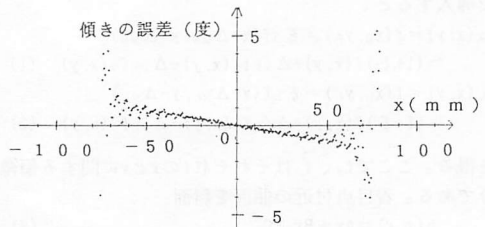


図7 円筒面($r=80\text{mm}$)の傾斜角の測定誤差(改良型)