画像流速解析における傾斜計を用いた幾何変換手法

神戸大学大学院工学研究科 学生会員 ○秋田 紘征神戸大学大学院工学研究科 正 会 員 藤田 一郎

1. はじめに

非接触型のビデオ画像を用いた流速計測法^{1,2)}においては河岸等から撮影した斜め画像における写真座標と物理(測量)座標を対応付けるために 6 点以上の標定点(GCP;Ground Control Point)を用いている.これらのデータを用いると斜め画像の幾何補正(image rectification)を行うことができる.しかしながら,山中にある河川など自然条件が厳しい場合,標定点を十分に設置することが難しい場合がある.本研究では,このような場合でも幾何補正を行うために図-1のように平板測量の三脚上に傾斜計(表-1)を設定できる機器を考案し,カメラの撮影アングルを求めることにした.この機器の利用により幾何補正に必要な変



表-1 傾斜計

表-2 カメラの外部変数

 $\omega(^{\circ})$

11.35

 $\varphi(^{\circ})$

0.15

 $\kappa(^{\circ})$

0

Zo(m)

0.83

メーカー	名称	感度(゜)	精度(゜)
東栄工業株式会社	レベルプロトラクターNo.2	0.025	0.05

Yo(m)

0

Xo(m)

0

数を減らすことができると考え、簡単な実験によりその有用性について検討した.

2. 斜めから撮影された画像の幾何変換

ここでは,実河川を想定し,10 cm間隔で白色の点をプロットした 黒色の板(91 cm×183 cm)を河川と見立てた.斜め方向から撮影された 画像上の座標を(x,y),測量座標を(X,Y,Z)とし両者の間に写真測量にお

ける共線条件式を適用し、水面と水平と考えて Z=H(水位)とすると次式が得られる.

$X = (H - Z_0) \frac{a_{11}x + a_{21}y - a_{31}c}{a_{13}x + a_{23}y - a_{33}c} + X_0,$	$Y = (H - Z_0) \frac{a_{12}x + a_{22}}{a_{13}x + a_{22}}$	$\frac{a_2y - a_{32}c}{a_3y - a_{33}c} + Y_0$	(1)
$a_{11} = \cos\phi\cos\kappa$	$a_{12} = -\cos\phi\sin\kappa$	$a_{13} = \sin \phi$	

 $a_{11} = \cos\phi \cos\kappa \qquad a_{12} = -\cos\phi \sin\kappa \qquad a_{13} = \sin\phi$ $\Box \Box \mathcal{K}, \quad a_{21} = \cos\omega \sin\kappa + \sin\omega \sin\phi \cos\kappa \qquad a_{22} = \cos\omega \cos\kappa - \sin\omega \sin\phi \sin\kappa \qquad a_{23} = -\sin\omega \cos\phi$ $a_{31} = \sin\omega \sin\kappa - \cos\omega \sin\phi \cos\kappa \qquad a_{32} = \sin\omega \cos\kappa + \cos\omega \sin\phi \sin\kappa \qquad a_{33} = \cos\omega \cos\phi$

また焦点距離 c, 図-2 に示した回転角(ω,φ,κ), カメラの位置座標(X₀, Y₀, Z₀)は外部変数と呼ばれるものである. 本実験ではこのうち焦点距離 c 以外を既知数(表-2)として与える. 焦点距離 c は未知数であり適当な初期値を与え たのち,標定点を考慮しながらニュートン法により値を算出する. ここでは標定点の数や位置を様々に変えて, 幾何補正画像に対する変換精度を調べる. 一例として図-3 に示した斜め画像を標定点 1, 2, 3 を用いて変換した 画像を図-4 に示す. 変換画像の精度は,図-4 に示した点 ABCD を結んだ線分の実長(AB, CD が 0.5m, AC, BD は 0.8m)と変換画像上のピクセル数(0.001m/pixel)から求めた長さを比較することで検討する. 代表的なケースの各 結果を表-3 に示した. 表-3 には本来 6 点使うべき標定点を 1 点のみ, 2 点のみ, および 3 点のみ使ったときの c の値(収束値)をと長さスケールの誤差を示した.

キーワード 傾斜計,非接触型流量解析,画像流速解析,STIV,幾何変換

連絡先 〒657-0013 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 TEL078-803-6439

これより、1 点のみの標定点を使ってもある程 度の幾何補正は可能であることがわかる.ただし, 点によっては10%程度の誤差が生じていることが わかる.また手前で横断方向のみに標定点を配置 した場合(点1と2)にも大きな誤差が生じている. これに対して遠方の点(3)を用いたときや、対象域 を囲むように配置したとき点(1,2,3)では誤差が減



図-3 撮影画像



少する傾向が見られた.ただし、今回用いた平板は若干の平面的な歪みがあったために、 それによる誤差も含まれていると考えられる. 傾斜計の有する計測誤差については俯角 が 11 度程度となる今回のケースでは±0.05°の変化を与えて解析を行っても結果に有 意な誤差は生じなかった.

図-4 変換画像

3. 斜め画像における空間解像度の検討

上述のようなプロセスを経 て幾何補正が正しく行われた としても斜め画像上でカメラ から離れた点になるほど1画 素に対する実際の長さが大き くなる.即ち空間解像度が低下 する. 例えば、実河川レベルで 考えると対岸付近の1画素の 実長が40cm以上となる場合も ある. STIV(Space Time Image Velocimetry)を用いて河川計測

標定点 c(焦点距離) AB CD AC BD 1350.2 555(11) 547(9.4) 915(14.375) 896(12) 1 3 1514.7 489(-2.2) 498(-0.4)812(1.5) 807(0.875) 1 6 3 1402.8 534(6.8) 536(7.2) 872(9) 858(7.25) 1と2 1311.9 574(14.8) 558(11.6) 937(17.125) 914(14.25) 1 6 2 6 3 1471.3 516(3.2) 510(2) 840(5) 826(3.25)

600

oicy

標定点間距離および誤差

長さ(mm)(誤差(%))

を行う場合,水面波紋を追跡できるスケールの限界は40cm程度と考えられるので³⁾,斜め画像上の各画素の実長 を調べておくことは計測精度を考える上で重要である. そこで, ここでは図-3 の実験画像を用いて上の表を調べ てみる. そのために本研究では次式を用いる.

表-3

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial X}{\partial y} \Delta y = func(\omega, \phi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0, c)$$

- - -

∠x=1, ∠y=0 とすれば斜め画像上の横方向の1 画素の物 理長さが求まる. 図-3 と同じエリアに対する結果を図-5 に 示す. このケースでは手前で 0.15cm, 遠方で(黒板の上端) では 0.3cm 程度の空間解像度であることがわかる. 同様の 手法は実河川においても全く同様に適用可能であるため、 今後の計測においてはこのような解像度を把握した上で実 行することが望ましい.

0.002 500 700 900 1000 1100 1200 picx 横方向の空間解像度(m)(図3赤枠内) 図-5

4. おわりに

今後は傾斜計を用いた計測を実河川で行いその有用性を示していく予定である.

謝辞

本研究は近畿建設協会の助成金による支援を受けた.ここに記して謝意を表する.

参考文献

1)藤田一郎:非接触型流速計測法を用いた実河川流の計測と問題点,ながれ,第26巻,5-12,2007. 2) Fujita, I., Watanabe, H. and Tsubaki, R. : Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space time image velocimentry (STIV), International Journal of River Basin Management, Vol5, No.2, pp.105-114, 2007 3)藤田一郎,北田真規:複数アングルの画像計測とラジコンボート搭載型 ADCP による融雪洪水流の空間計測,水工

学論文集, 第58巻, I-613~I-618, 2014

(2)

dX(m)

0.0035 0.003 0.0025