

1. はじめに

近年ビデオ画像を用いる非接触型の流速計測法があらためて注目されている．この手法は，河川表面を河岸等から撮影したビデオ画像に記録される水面波紋の移流速度を画像解析の手法で求めるものであり，河川モニタリングカメラ(CCTV)の映像を直接利用できるため，大洪水時でも安全に計測を行える．この安全という点，また従来法の浮子法で頻発した欠測を補える可能性が高いこともあって注目されている訳である．LSPIV¹⁾(Large Scale Particle Image Velocimetry)やSTIV²⁾(Space Time Image Velocimetry)が代表的な画像計測手法であるが，どちらの手法においても斜めから撮影された画像を用いるために，画面上の座標と物理座標(測量座標)の関係を求める必要があり，各々の座標系における標定点(6点以上)の値から最小二乗法によって変換係数を求めている．しかしながら，実河川計測においてはカメラから100m以上離れたような点が対象となることが多いため，画面上の標定点座標には誤差が含まれており，そのために画像変換(幾何補正)後の標定点座標が測量座標と必ずしも一致しないケースが見られた．そこで本研究では画像変換を高精度に行う手法を考案し，従来手法との比較からその有用性について検証する．

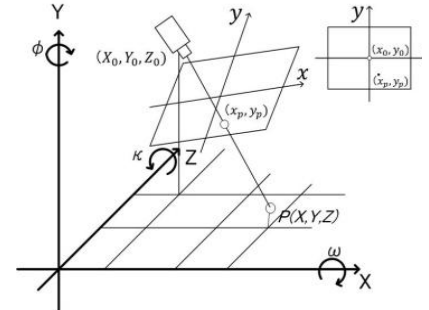


図-1 射影変換図

2. 斜めから撮影された画像の幾何補正

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平行と考えて $Z=H$ (水位)とすると次式が得られる

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

$$a_{11} = \cos\phi \cos\kappa$$

$$a_{12} = -\cos\phi \sin\kappa$$

$$a_{13} = \sin\phi$$

$$\text{ここに, } a_{21} = \cos\omega \sin\kappa + \sin\omega \sin\phi \cos\kappa$$

$$a_{22} = \cos\omega \cos\kappa - \sin\omega \sin\phi \sin\kappa$$

$$a_{23} = -\sin\omega \cos\phi$$

$$a_{31} = \sin\omega \sin\kappa - \cos\omega \sin\phi \cos\kappa$$

$$a_{32} = \sin\omega \cos\kappa + \cos\omega \sin\phi \sin\kappa$$

$$a_{33} = \cos\omega \cos\phi$$

c : 焦点距離, ω, ϕ, κ : 図-1 に示した回転角, (X_0, Y_0, Z_0) : カメラの位置座標である．一般的には式(1)に標定点座標の値を代入しニュートン・ラフソン法から，各係数を収束計算により求める．一例として図-2 に示した画像を変換した結果の画像を図-3 に，得られたパラメーターを表-1(補正前)に示す．

$P_0 \sim P_5$ は標定点， $\tilde{P}_0 \sim \tilde{P}_5$ は幾何変換画像

上で水面に投影した標定点であり図-3 では赤丸で示した．

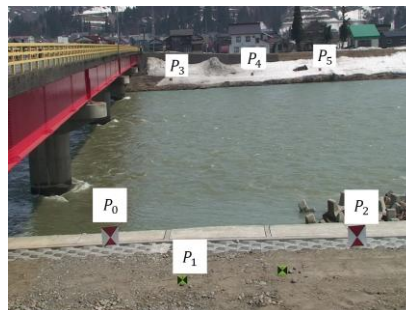


図-2 撮影画像

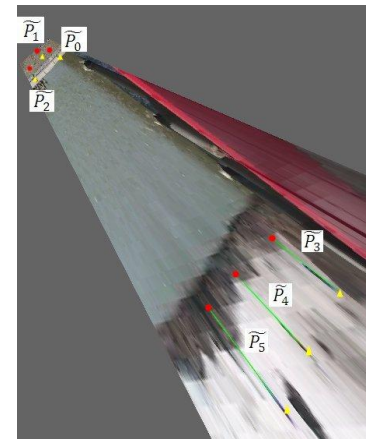


図-3 幾何変換画像

表-1 変換係数

	$X_0(\text{m})$	$Y_0(\text{m})$	$Z_0(\text{m})$	$\omega(^{\circ})$	$\varphi(^{\circ})$	$\kappa(^{\circ})$	c
補正前	138210.739	-37912.904	92.064	11.78	-2.29	133.09	1954.455
補正後	138210.739	-37912.904	92.064	11.78	-2.38	133.09	1929.455

表-2 補正前後の標定点間距離の誤差及び差

		$\widetilde{P_0P_2}$	$\widetilde{P_0P_3}$	$\widetilde{P_0P_5}$	$\widetilde{P_2P_3}$	$\widetilde{P_2P_5}$	$\widetilde{P_3P_5}$
補正前	誤差(%)	-0.265	-3.549	-2.253	-2.292	-3.484	-1.695
	差(m)	-0.035	-5.467	-3.593	-3.638	-5.486	-0.836
$\angle\varphi=-0.07^{\circ}$	誤差(%)	-0.265	-3.358	-3.469	-3.514	-3.292	-2.374
	差(m)	-0.035	-5.173	-5.532	-5.578	-5.183	-1.171
$\angle\varphi=-0.07^{\circ}, \angle c=-25$ (補正後)	誤差(%)	0.196	-0.216	-0.199	-0.288	-0.258	1.083
	差(m)	0.026	-0.333	-0.317	-0.458	-0.407	0.535

本来ならば $\widetilde{P_0} \sim \widetilde{P_5}$ の座標は測量座標を一致するはずであるが前述のような誤差等の影響で必ずしも一致しないことが多い。即ち、図-4 に示すように画面上の 1 ピクセルのサイズが遠方になるほど大きくなることも誤差の要因である。上に取り上げた例では、表-2(補正前)に示すように標定点間の距離の差が 5m に達している。

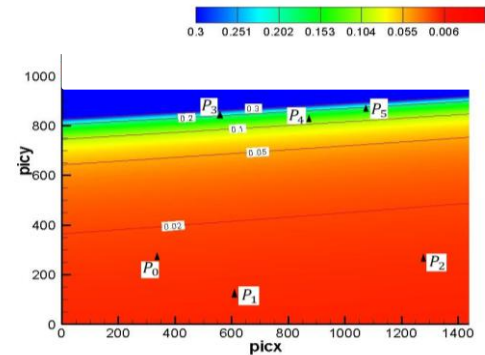


図-4 撮影画面上の 1 ピクセル辺りの大きさ(m)

3. 幾何補正の高精度化手法

上述のような誤差を小さくするために本研究では各変換パラメーターが補正画像の変換に及ぼす影響を詳細に検討した。すなわち、各パラメーターの微小変化が物理座標 (X, Y) に与える影響を次式のような全微分系で調べた。

$$\begin{aligned}\Delta X &= \frac{\partial X}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial X}{\partial \varphi} \Delta \varphi + \frac{\partial X}{\partial \kappa} \Delta \kappa + \frac{\partial X}{\partial X_0} \Delta X_0 + \frac{\partial X}{\partial Y_0} \Delta Y_0 + \frac{\partial X}{\partial Z_0} \Delta Z_0 + \frac{\partial X}{\partial c} \Delta c \\ \Delta Y &= \frac{\partial Y}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial Y}{\partial \varphi} \Delta \varphi + \frac{\partial Y}{\partial \kappa} \Delta \kappa + \frac{\partial Y}{\partial X_0} \Delta X_0 + \frac{\partial Y}{\partial Y_0} \Delta Y_0 + \frac{\partial Y}{\partial Z_0} \Delta Z_0 + \frac{\partial Y}{\partial c} \Delta c\end{aligned}\quad (2)$$

すなわち、 φ に着目すればその微小な増減により変換後の X 座標がどの程度変化するかを予め求めることが可能となる。ただし、一度に全てのパラメーターに変化を与えることはできないため、本研究では段階を分けて補正を行った。表-2 に示した例では、 $\angle\varphi=-0.07^{\circ}$ の補正後、 $\angle c=-25$ の補正を加えることで標定点間の距離の相対誤差を約 1% 以下、実長で 0.5m 以下程度まで下げることができることを確認した。

4. 終わりに

本研究では斜めから撮影した画像を幾何補正する際に含まれていた変換誤差を小さくする考え方と手法を提案した。今後は含まれる誤差要因を調べ計測法全体の高精度化を行う予定である。

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。

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 velocimetry (STIV), International Journal of River Basin Management, Vol5, No.2, pp.105-114, 2007