

勾配急変部における砂州形成の実験的研究

宇都宮大学 学生員 青木 拓也
宇都宮大学 正会員 池田 裕一

1. はじめに

沖積河川の中には、河床縦断勾配が急変する河川がある。勾配が急変する地点の前後では河床材料の堆積状況、河道幅、流路形態などが変化することが知られている。そのため、勾配急変部付近では複雑な現象が起きていると考えられる。ゆえに、河川の全体的、長期的な管理・維持について考えるとき、勾配急変を伴う河川の構造を知ることは重要であるといえる。

本研究では勾配急変部を設けた水路を用いて砂を敷き詰め、砂州が形成される条件下で移動床実験を行い、勾配急変部特有の現象を捉えることを目的としている。ただし、河床形状の3次元的变化を捉えるためには、ポイントゲージや移動式砂面計などによる河床形状計測は、多くの時間と労力を要する。そこでまず、効率がよく広範囲な計測が可能で、しかも安価なシステムとして、デジタルカメラを用いた解析写真測量により、河床形状の3次元計測システム開発を構築するとした。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた水路は、勾配急変点を有する全長16m、幅20cmの長方形断面水路である。実験では、水路の約12mの区間に混合砂礫を敷き詰め、流送実験を行い、河床形状を測定することとした。

測定は、写真測量を用いて計測を行った。まず、水路壁、河床に適当な数の基準点を設置し、次に画像取得のため、デジタルカメラを可動式の台座に設置し、測定範囲が2枚の写真に写るように平行撮影を行った。このとき、2枚の写真のオーバーラップ(重複部分)は、奥行き方向の精度、撮影効率を考慮したときに最適だとされている60%程度を目安とした。そして、取得した写真から画像編集ソフトを用いて基準点の指標座標を読み取り、計測範囲全体については流体画像解析ソフトを用いて指標座標を読み取

った。それら、読み取った座標から単写真標定を行い、河床形状の3次元座標を算出した。

3. 河床測定システムの構築

3-1 単写真標定の基本式

本研究では、内部標定要素(指標中心と主点とのずれ、レンズディストーションの係数、フィルム平面度の歪み係数)を考慮した単写真標定を行い、その結果から河床の3次元座標を算出した。

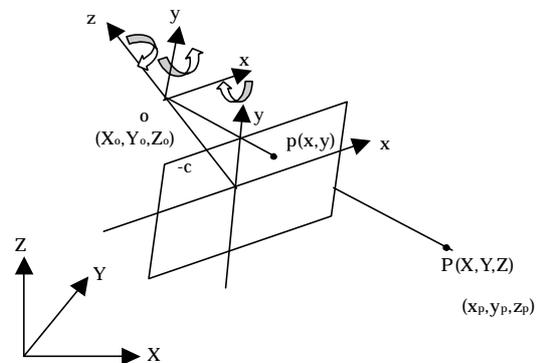


図1 単写真の幾何

図1に示すように、カメラ座標系をxyz、写真座標系をxy、地上座標系をXYZとする。単写真標定とは、一枚の写真の中に写された基準点に成り立つ共線条件を用いて、外部標定要素、つまりカメラの位置 (X_0, Y_0, Z_0) およびカメラの傾き (α, β) を求め、写真座標系と地上座標系の関係を確認することである。従って、立体写真を構成する2枚以上の写真をそれぞれ単写真標定し、対応する立体写真の1組の写真座標を与えることで、その点の3次元座標が算定可能となる。

単写真標定で用いられる、投影中心、写真像および地上の測定対象物が一直線上にあるという共線条件式は次の式で表わされる。

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

keyword : 勾配急変部, 交互砂州, 写真測量, デジタル写真

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 TEL 028-689-6214 FAX 028-689-6230

図2 Excelでの作業Sheet

- (X,Y,Z); 対象物 P の地上座標
- (X₀,Y₀,Z₀); 投影中心の地上座標
- (x,y); 対応する写真像の写真座標
- c; 画面距離
- a_{ij}; 回転行列の要素

ここで、式(1)における写真座標は、写真の中心を原点とする指標座標から補正量を引いた座標であることに注意し、6個の外部標定要素と11個の内部標定要素に関する関数として次のように書くことができる。

$$\begin{aligned}
 & F(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa; x_0, y_0, c; a_1, a_2; k_1 \sim k_6) \\
 & = -c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} - (x' - \Delta x) = 0 \\
 & G(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa; x_0, y_0, c; a_1, a_2; k_1 \sim k_6) \\
 & = -c \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} - (y' - \Delta y) = 0
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

(x, y); x座標,y座標の補正值

(x',y'); 対応する写真像の指標座標

3-2 標定要素, 3次元地上座標の算出

本研究では、座標計算の実施には Microsoft Excel (以下 Excel) を用いた。まず標定要素については、Excel 内のソルバー機能を利用して、式(2)を最小2乗法で解いた。ここで、外部標定要素の初期値は、カメラ位置については撮影時に計測した値を、カメラの傾きについては0を与えた。次に、3次元座標については、対応する写真座標 (x₁, y₁), (x₂, y₂) および単写真標定によって算出された外部標定要素から(1)式を変形した次の式より m 点の測定点の3次元座標 (X_j, Y_j, Z_j) を求める。

$$\begin{aligned}
 X_j &= (Z - Z_{oi}) \frac{a_{11}^{(i)} x_i + a_{21}^{(i)} y_i - a_{31}^{(i)} c}{a_{13}^{(i)} x_i + a_{23}^{(i)} y_i - a_{33}^{(i)} c} + X_{oi} \\
 Y_j &= (Z - Z_{oi}) \frac{a_{12}^{(i)} x_i + a_{22}^{(i)} y_i - a_{32}^{(i)} c}{a_{13}^{(i)} x_i + a_{23}^{(i)} y_i - a_{33}^{(i)} c} + Y_{oi}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ここで、i=1, 2, j=1, m

式(3)によって与えられる式を変形して観測方程式をたて、Excel のソルバー機能を用いて最小2乗法により、3次元座標 (X, Y, Z) を決定する。このとき必要となる各対応する一組の指標座標は、流体画像解析ソフトを用いて、値を得た。

この計算過程の検討は、模擬データとして測定地形を設定し、その上で単写真標定を行い、各標定要素を求め、測定地形の3次元地上座標を算出し、行った。その結果、測定地形を許容範囲内の誤差で算出できたことから、実際に適用できると判断した。

Excel での作業状況を図2に示す。

今後、勾配急変部を用いた水路において実験を行い、河床計測システムを用いた測定の結果から、砂州形成における3次元的变化について検討を行う。結果は、当日発表の予定である。

参考文献)

- 1) 社団法人 日本写真測量学会：解析写真測量 改訂版 (社)日本測量学会・解析写真測量委員会, 平成9年
- 2) 児玉芳敬：渡良瀬川下流部における河床勾配の急変と河床表面の堆積状況 地理学評論, 67A-5, 311-324, 1994
- 3) 岸, 黒木：沖積河道の流路形態の領域区分に関する研究 第26回水理講演会論文集, 土木学会, pp.51~56 1982