

## 斜め撮影による画像処理粒度分布調査

岐阜大学工学部社会基盤工学科 ○大橋 慶介

岐阜大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 安田 真悟, 伊原 一樹

## 1. 背景と目的

画像処理技術の発達に伴い、デジタル画像を使って河床粒度分布調査を簡易に実現する「画像処理法」が実用化に向けて開発されている<sup>1)</sup>。画像処理法は石礫を自動認識する AGS(Automated Grain Sizing)<sup>2)</sup>と手動によって石礫輪郭を決定する MGS(Manual Grain Sizing)の2つに大別できる。AGSは石礫の形状、色、撮影条件等により検出精度が大きく左右され、より頑健なアルゴリズムの開発の余地が多く残されている。MGSは、従来法のひとつである写真法と原理的に同じであり、石礫が判別しにくい画像であっても、人間の経験によってほぼ正確な石礫形状を決定することが可能である。

このように、石礫認識技術は徐々に確立されつつあって、粒度分析効率は高くなる一方で、画像の撮影効率の低さが問題となっている。これまでの画像処理法では、通常、河床に設置したコドラートの大きさを参照して実体と画像との縮尺を決定していた。そのため、画像内の位置によって縮尺が異なるのを避けるため、河床に対して垂直に撮影する必要がある、機器によるカメラの固定作業が調査効率を下げる要因だった。そこで、本研究では固定機器を使用せず、手持ちによる斜め撮影の画像を用いた画像処理粒度分布調査の可能性を検討する。斜め撮影の画像を用いた粒度分布調査では、コドラートの作る基準面より石礫が突出しているとき、実体より大きく計測されることがわかっており、石礫の幅、画像内位置、撮影俯角からその大きさを補正する方法<sup>3)</sup>が提案されている。ここではまず、画像に写ったコドラートの形状から未知量である撮影俯角の推定を試みる。また、上述の補正方法は、ピンポン球を使った室内実験では良好な一致をみたが、現地河床では過大補正であることが報告されている。そこで、石礫を半球と仮定したモデルに改良し補正効果を検証する。

## 2. 撮影方法と俯角推定精度について

河床に 1.2 m 四方のコドラートを設置し、撮影俯角 90°、75°、60°、45°、30° の 4 ケースを図-1 のように撮影した。但し、実験では俯角を正確に保持するため、手持ちではなく固定機材による撮影としている。3次元空間座標系  $(x_i, y_i, z_i)$  の画像平面座標系  $(x_{sc}, y_{sc})$  への投影変換は、光学的に以下の式で表すことができる。

$$x_{sc_i} = f \frac{x_i}{z_i \cos \theta + dz}, \quad y_{sc_i} = f \frac{-z_i \sin \theta}{z_i \cos \theta + dz}$$

ここで、 $i = 1, 2, 3, 4$  はコドラートのそれぞれの頂点に対応し、 $\theta$  は俯角、 $f$  はカメラパラメータと呼ばれるレンズの焦点距離とイメージセンサーの大きさで決まる定数、 $dz$  はカメラからコドラート中心までの距離である。従って、画像の中心とコドラートの中心を一致させれば、コドラート領域は  $\theta$  によって一意に決定できる。ここでは、台形に歪んだコドラートの下底長  $l_{bottom} = x_{sc_2} - x_{sc_1}$ 、上底長  $l_{top} = x_{sc_3} - x_{sc_4}$  とし、その比  $l_{bottom}/l_{top}$  が  $\theta$  を変化させたとき、理論値  $x_{sc_i}$  を与えたときの上下底長比に最も近い値を取るときの  $\theta$  を試行計算から推定俯角と決定した。その結果を表-1 に示す。90°～45°までは誤差 1°以内、30°では誤差 2°と良好な推定結果が得られた。また、俯角が大きいほど推定精度が高い傾向である。

## 3. 半球モデルによる歪み補正

斜めに撮影された画像はコドラートが正方形になるよう透視投影変換され、コドラートの高さにおいては、画像内の縮尺は一定に保たれる。しかし、実際の河床には石礫の凹凸があるため、画像内の位置と石礫の突出高さによっては実体より大きく見えており、その歪みを補正するモデルが考案されている<sup>3)</sup>。

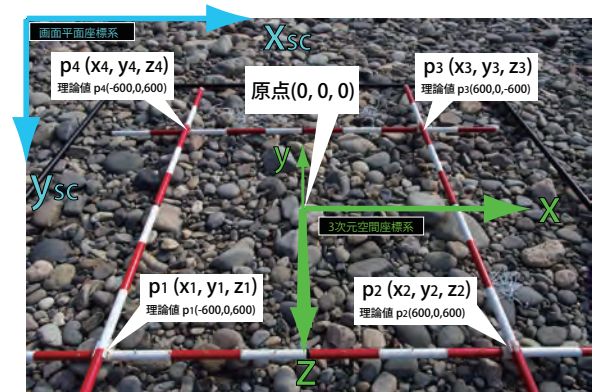


図-1 河床撮影画像の例 (俯角 45°) とコドラート頂点の 3 次元空間座標系での理論値

そのモデルは石礫を基準面に置かれた球と仮定して，歪みの大きさを計算する方法であり，縦歪み  $d'_{v1}$ ，横歪み  $d'_{h1}$  の大きさは以下の式で表される．

$$d'_{v1} = R_1 \sin \theta' (\tan \delta - \tan \beta) \quad (1)$$

$$d'_{h1} = (\tan \delta + \tan \beta) R_1 \sin \theta' \tan \tilde{\alpha} \quad (2)$$

ここで， $\theta'$  は各石礫に対する対石礫俯角であり，その光学的モデルを図-2 に示す．しかし，これまでの現地調査でこのモデルは歪みを過大評価する傾向であることがわかっている．そこで，石礫が半分埋まった状態を模擬した半球モデルでの各歪み  $d'_{v2}$ ， $d'_{h2}$  を以下で表し，

$$d'_{v2} = R_2 \sin \theta' (\tan \delta - \tan \beta) \quad (3)$$

$$d'_{h2} = (R_2 \cos \theta' - r) \tan \tilde{\alpha} + R_2 \sin \theta' \tan \delta \tan \tilde{\alpha} \quad (4)$$

典型的な石礫での両モデルでの補正結果を図-3 に示す．補正の改善が期待された半球モデルであるが，過大評価の修正量は予想より小さく，全球モデルと同様に対石礫俯角  $\theta'$  が  $45^\circ$  以下での大評価が著しい結果となった．

#### 4. おわりに

光学モデルによって斜め撮影された画像から 1) 撮影俯角  $\theta$  を実用的な精度で計算する事ができた．これにより，撮影俯角が不明である過去の画像であっても形状が確定している物体が写っていて，撮影距離もしくは撮影高さが既知である場合は俯角推定が可能である事を示した．また，2) 斜め画像を射影変換した際に生じる歪みを補正する半球モデルを提案し，いくつかの石礫について歪み補正を試みたが期待した改善は得られなかった．今回は標本数が少なかったため，より多くの石礫を対象としたモデルによる補正効果の検証が必要であると考えられる．

#### 参考文献

- 1) 大橋慶介・安田真悟・伊原一樹：画像処理による河床粒度分布調査，H22 年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 286-287，2010．
- 2) 大橋慶介・安田真悟・伊原一樹：OpenCV を用いた画像処理による河床粒度分布調査および石礫検出精度について，情報利用技術論文集，vol.19，pp.115-124，2010．
- 3) 安田真悟・大橋慶介・伊原一樹：河床粒度分布調査における斜め画像の処理に伴う石礫輪郭の歪み補正，水工学論文集，第 55 巻，pp.S1159-S1164，2011．

表-1 設定俯角と推定俯角の比較

| 設定俯角 | 推定俯角   |
|------|--------|
| 90°  | 90.00° |
| 75°  | 75.67° |
| 60°  | 60.76° |
| 45°  | 45.86° |
| 30°  | 32.10° |

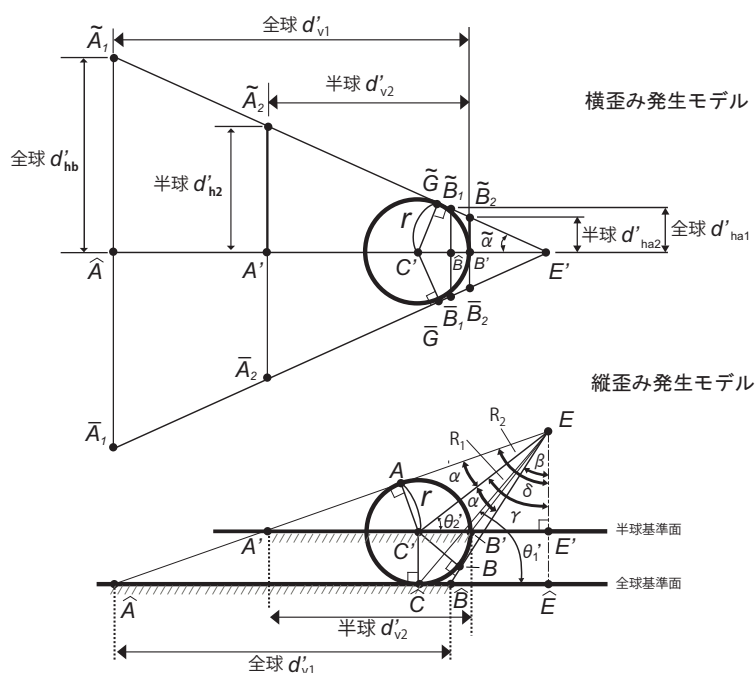


図-2 石礫を全球および半球と仮定したときのモデルの概要

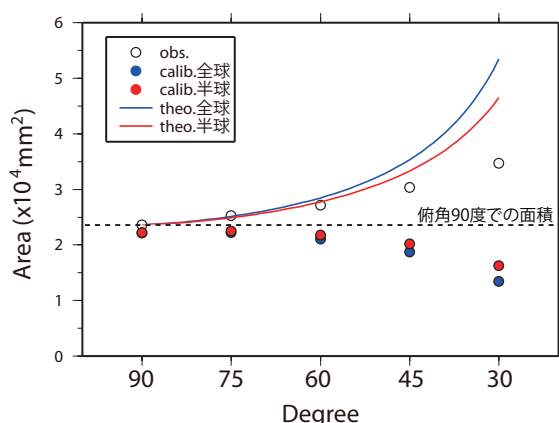


図-3 全球・半球モデルによる補正結果