

河床材料の形状特徴量の画像自動計測の検討

環境リモートセンシング研究室 高野佑也
指導教員 力丸厚 入江博樹 坂田健太

1. はじめに

日本の河川は、過去幾度となく洪水などの水害に見舞われている。河川工事が進められると、各地の河川においてその環境が変化する。そこで、公共団体および企業は、各地の河川環境の回復・保全をすべく努力を続けている。河川環境の回復・保全の一環として行われている河床材料調査は、河床材料の侵食・運搬・堆積による作用の把握を目的とし、砂防の観点からも河床材料調査を行うことで河川工事に役立っている。¹⁾

2. 河川環境と河床材料調査について

懸念されている河川環境の変化の一つに、河床材料の細粒化がある。この細粒化が進むと、魚類の生育環境である浮石が減少する。このように、魚類の生育環境が悪化すると漁獲高に大きな影響を与える。そこで、河床材料調査を行うことにより、このような河川環境を把握することが重要である。

3. 本研究の目的

河床材料の調査では、主に河床材料の粒径を把握することが行われてきたが、粒径以外にも面積や、外接円および内接円の直径といった形状特徴量がある。本研究では、形状特徴量を求めることで従来の河床材料調査では測定できなかった河床材料の持つ情報を算出することができる。²⁾

また北陸地方整備局等で行われている、河床材料の粒径測定にはふるい分け試験や沈降分析といった土質実験を行い、粒径を測定する。本研究では、このような土質実験を行うことなく河床材料を画像上で解析することで、自動的に形状特徴量を算出することを目的とする。

本研究では、この形状特徴量の中で以下のものを算出した。

- ① 面積(area)
対象とする河床材料の平面上の面積。
- ② 外接円の直径 (outer radius)
河床材料の長軸にあたる。
- ③ 内接円の直径 (inner radius)
河床材料の短軸にあたる。
- ④ 円形度 (circularity)
河床材料の形が、どれだけ円に近いかを表す。最大値は円の場合で1である。河床材料が運搬される際に、河床材料表面が摩耗し丸みを帯びてくるため上流ほど円形度は低く、下流ほど円形度は高いと予測される。
- ⑤ 縦横比 (anisometry)
河床材料の長軸と短軸の比のこと。

4. 研究のフローチャート

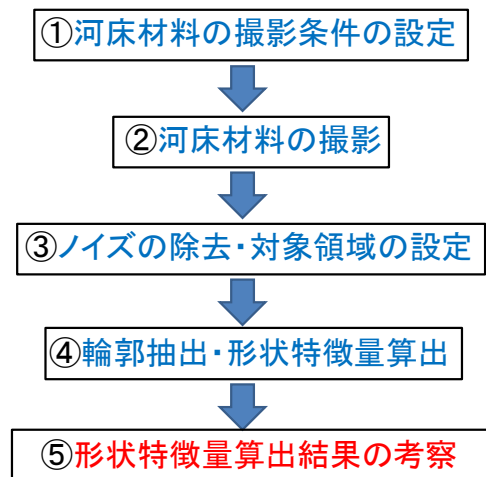


図1. 本研究のフローチャート

本研究のフローチャートを図1に示す。河床材料の撮影条件を設定し、撮影を行った。次に、画像処理の2値化の閾値処理により、河床材料領域を対象領域として設定する。そして、画像の平滑化によりノイズを除去する。分水嶺法を用いて河床材料の輪郭を抽出し、形状特徴量を算出した。算出した形状特徴量を基に、結果を作成し考察を行った。

5. 河床材料の撮影

本研究では、国土交通省信濃川河川事務所の河床材料調査にて、河床材料の細粒化の傾向が見られた魚野川の八海橋と福山橋、この2箇所よりも河床材料の粒径が異なる八色大橋・堀之内橋を対象とし撮影を行った。上流から八海橋・八色大橋・福山橋・堀之内橋という位置関係になる。(図2参照)

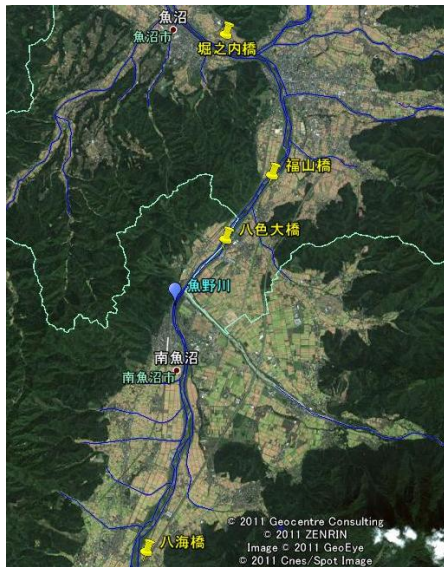


図2. 河床材料の撮影地点 (出典:google earth)

図3～図6に各撮影地点の河床材料画像を示す。また、表1～表4にそれぞれの撮影地点での計測した河床材料数および画像解像度を示す。

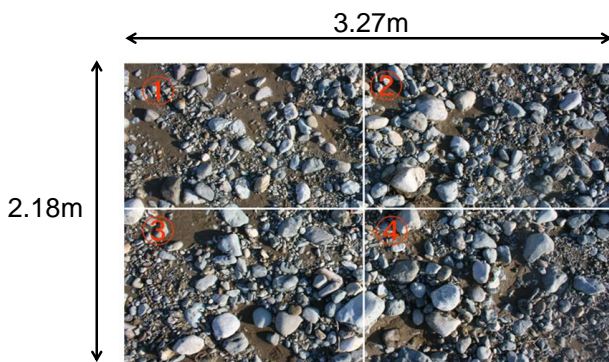


図3. 八海橋の撮影画像(広域)

表1. 八海橋の計測領域数および解像度

広域	計測領域数
八海橋①	1107
八海橋②	1327
八海橋③	1546
八海橋④	1546
平均	1382
合計	5526
解像度(pixel/mm)	0.8403

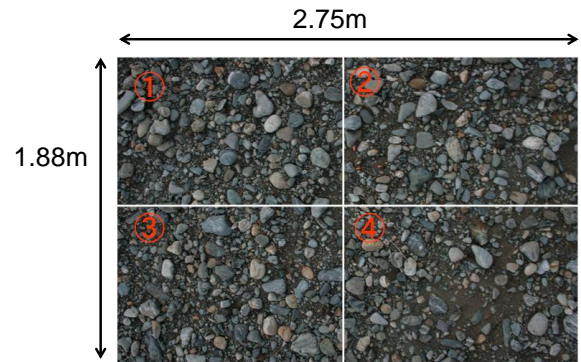


図4. 八色大橋の撮影画像(広域)

表2. 八色大橋の計測領域数および解像度

広域	計測領域数
八色大橋①	1488
八色大橋②	932
八色大橋③	1154
八色大橋④	899
平均	1118
合計	4473
解像度(pixel/mm)	0.7090

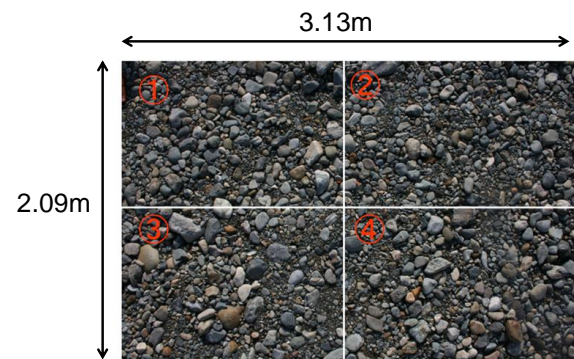


図5. 福山橋の撮影画像(広域)

表3. 福山橋の計測領域数および解像度

広域	計測領域数
福山橋①	1490
福山橋②	1840
福山橋③	1916
福山橋④	1086
平均	1583
合計	6332
解像度(pixel/mm)	0.8060

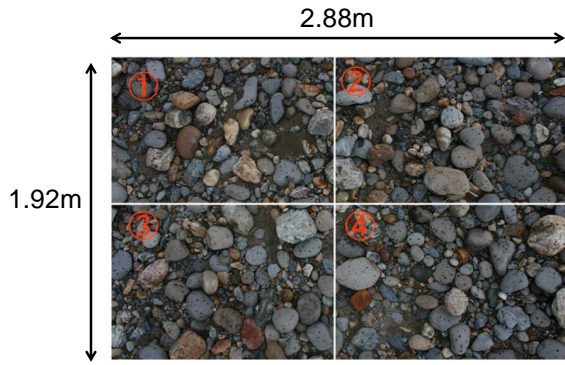


図6. 堀之内橋の撮影画像(広域)

図3～図6のように画像を4分割し、①～④の画像について形状特徴量の計測を行った。

表4. 堀ノ内橋の計測領域数および解像度

広域	計測領域数
堀之内橋①	621
堀之内橋②	607
堀之内橋③	760
堀之内橋④	752
平均	685
合計	2740
解像度(pixel/mm)	0.7420

また、図7に国土交通省信濃川河川事務所の河床材料調査の八海橋と福山橋の結果を示す。福山橋(左岸16km地点)と八海橋(右岸28km地点)では、河床材料の細粒化の傾向が見受けられる。※魚野川と信濃川の合流地点を起点(0km)とする。この河床材料調査の対象粒径は、0.1mm程度～100mm程度となっている。このことから、河床材料の粒径計測は細粒分のmm単位まで計測する必要がある。

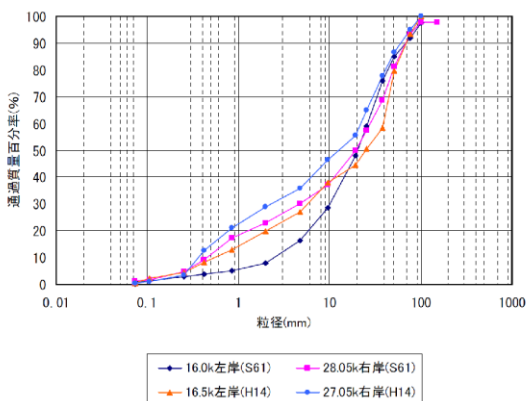


図7. 八海橋と福山橋の河床材料調査結果

河床材料の粒径計測の際に、0.1mm未満の細粒分を対象に含んだ計測を行うために本研究では、図3のようなマルチスケール画像を用いた計測を行った。これは、撮影対象地点の撮影範囲を何段階かに分けるといものである。微細な河床材料を対象とする狭い撮影範囲の画像(図3左側)を撮影し、それを含んだ広域の画像(図3右側)の撮影を行った。本研究では、図3～図6の広域の河床材料画像と図9～12の狭い領域の河床材料画像の2種類の画像計測を行った。

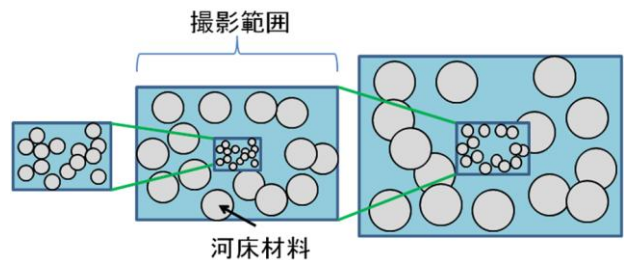


図8. マルチスケール画像の概要

図9～12に各撮影地点の狭い撮影範囲の画像を示す。また、表5～表8にそれぞれの撮影地点での計測した河床材料数を示す。

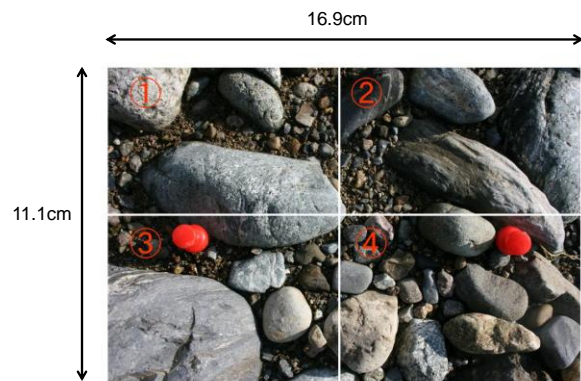


図9. 八海橋の撮影画像(狭い領域)

表5. 八海橋の計測領域数および解像度

狭い領域	計測領域数
八海橋①	1453
八海橋②	1065
八海橋③	944
八海橋④	626
平均	1022
合計	4088
解像度(pixel/mm)	0.0432

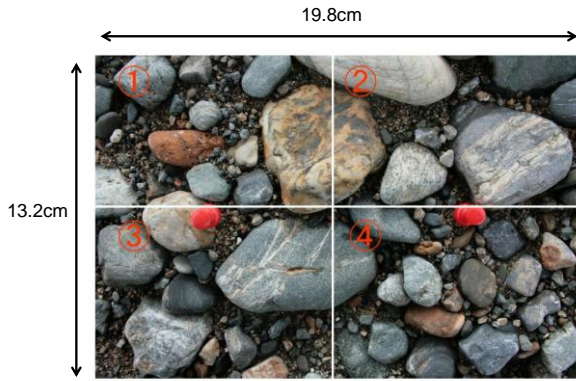


図10. 八色大橋の撮影画像(狭い領域)

表6. 八色大橋の計測領域数および解像度

狭い領域	計測領域数
八色大橋①	565
八色大橋②	310
八色大橋③	435
八色大橋④	470
平均	445
合計	1780
解像度(pixel/mm)	0.0510

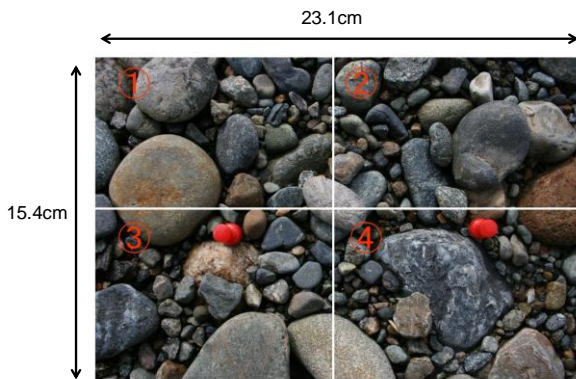


図11. 福山橋の撮影画像(狭い領域)

表7. 福山橋の計測領域数および解像度

狭い領域	計測領域数
福山橋①	517
福山橋②	230
福山橋③	292
福山橋④	533
平均	393
合計	1572
解像度(pixel/mm)	0.0595

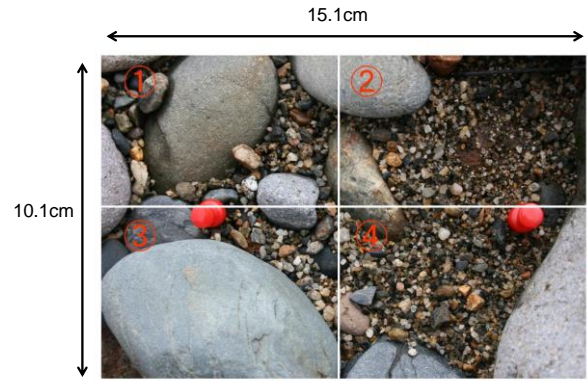


図12. 福山橋の撮影画像(狭い領域)

図9～図12のように狭い撮影範囲の画像も広域同様に画像を4分割し、①～④の画像について形状特徴量の計測を行った。

表8. 堀ノ内橋の計測領域数および解像度

狭い領域	計測領域数
堀之内橋①	365
堀之内橋②	1503
堀之内橋③	328
堀之内橋④	1087
平均	821
合計	3283
解像度(pixel/mm)	0.0389

表9にマルチスケール画像の広域の解像度と狭い領域の解像度を示す。狭い領域の解像度は、どの地点でも0.1(pixel/mm)未満となっており、マルチスケールでの撮影を行うことで、0.1mm未満の細粒分を含む形状特徴量の計測が可能となった。

表9. 各撮影地点の解像度

撮影箇所	八海橋	八色大橋	福山橋	堀ノ内橋
広域解像度(pixel/mm)	0.8403	0.7090	0.8060	0.7420
狭い領域の解像度(pixel/mm)	0.0432	0.0510	0.0595	0.0389

図13に撮影した元画像と、河床材料の輪郭を抽出した画像を示す。これにより、河床材料の形状特徴量を算出することができる。



図13. 画像解析前と輪郭抽出後の河床材料画像

6. 形状特徴量の計測及び結果

図 14 に撮影地点別の外接円・内接円の平均直径を示す。X 軸に外接円と内接円の平均直径を、Y 軸に累積面積比率を設定した。累積面積比率とは、面積比率を累積にしたもので面積比率は式 1 で算出することが出来る。

$$\text{面積比率} = (\text{各河床材料の面積} / \text{画像中すべての河床材料の面積}) \times 100 \dots \text{式 1}$$

また、マルチスケール画像の形状特徴量の計測結果を統合する際には、広域の撮影画像の形状特徴量抽出結果を基本とし、広域の最小粒径未満の河床材料については、狭い撮影範囲の河床材料で補った。

図 14 に各撮影地点の外接円・内接円の平均直径を示す。本研究では、これを河床材料の粒径として取り扱う。堀之内橋を除く地点で、上流側ほど粒径が大きい河床材料の割合が高いことから、3 地点で河床材料の細粒化を確認できた。

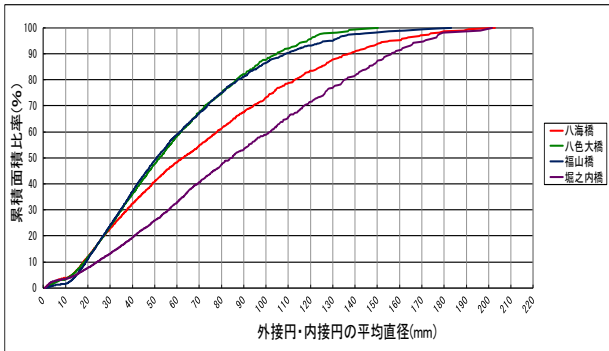


図 14. 撮影地点別の外接円・内接円の平均直径

図 15 に撮影地点別の円形度を示す。X 軸に外接円の直径を、Y 軸に円形度を設定した。これより、外接円の直径ごとの円形度の値が把握できる。ほとんどの外接円の直径で、最下流の堀ノ内橋の円形度の値が最大である。これは、上流から下流に河床材料が運搬される際に、河床材料表面が摩耗し、なだらかになり河床材料全体が丸みを帯びているからである。この摩耗の作用は、河床材料の運搬距離が大きくなるほど大きくなるため、最下流の堀ノ内橋では顕著に見られたと言える。

また、円形度は粒径の小さな河床材料の場合、形状に関わらず縦と横のピクセル値が近似するため、外接円の直径が 10~40 mm 程度の河床材料は円形度が非常に大きくなる。そこで、本研究では外接円の直径が 40 mm 以上のものについて考察を行う。

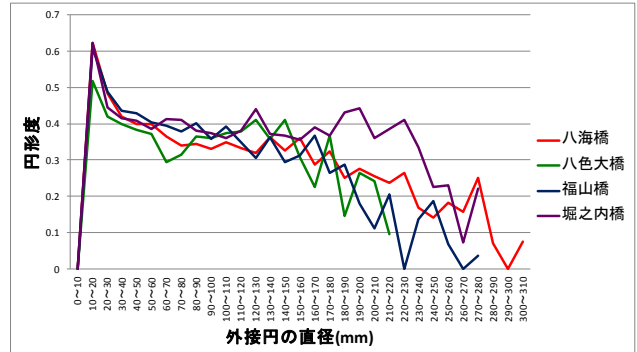


図 15. 撮影地点別の円形度

図 16 に撮影地点別の縦横比を示す。X 軸に外接円の直径を、Y 軸に円形度を設定した。これより、外接円の直径ごとの縦横比の値が把握できる。縦横比は、外接円の直径が大きくなるにつれ縦横比も大きくなる傾向にあり、これは円形度の場合の反対であると言える。円形度の高い河床材料は、長軸と短軸が近似するため縦横比は小さくなる。このように本研究からは、円形度と縦横比の対応関係が把握できた。

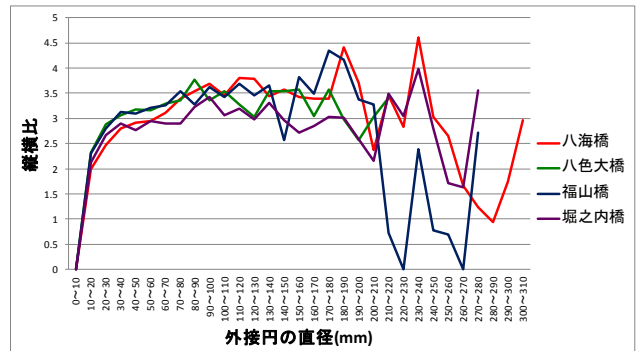


図 16. 撮影地点別の縦横比

表 10、図 17 に各地点の平均粒径 D_{50} と、その平均粒径の円形度・縦横比を示した。平均粒径とは、対象地点の河床材料の代表的な粒径の大きさである。図 14 の累積面積比率の 50% にあたる粒径のことである。各地点の形状特徴量の特性を以下に示す。また、図 17 より堀之内橋を除く地点で、円形度は下流にいくほど高くなり河床材料表面の摩耗による作用が見られた。

表 10. 各地点の平均粒径の形状特徴量

	八海橋	八色大橋	福山橋	堀之内橋
平均粒径D50 (mm)	58.93	53.88	52.05	86.73
D50の円形度	0.34	0.31	0.38	0.44
D50の縦横比	3.54	3.35	3.54	2.98

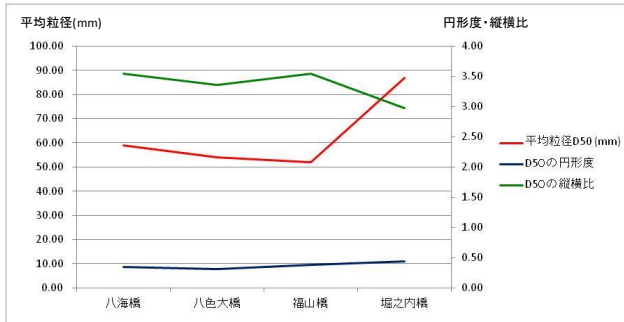


図 17. 各地点の平均粒径の形状特徴量

八海橋…平均粒径が 58.93 mm と大きく、河床材料が下流に運搬される際に、河床材料表面が削られる前の上流側の特性が見られた。

八色大橋…平均粒径は 53.88mm と福山橋と同程度の値を示し、円形度は 0.31 と最も小さい。河床材料が運搬されることによる表面の摩耗現象の影響は少ないと言える。

福山橋…平均粒径が 52.05 mm と最も小さく、上流から下流に行くにつれて粒径が小さくなる細粒化現象の影響が見られた。

堀之内橋…最下流に位置しているながら平均粒径が 86.73mm と最も大きいことから、河川工事により河床材料の移動があったと思われる。また、円形度が 0.44 と最も高く縦横比が低いことから、河床材料表面が摩耗し丸みを帯びていると言える。

7. まとめと今後の課題

本研究の成果を以下にまとめる。

- 面積、外接円および内接円、円形度、縦横比といった形状特徴量から各地点の河床材料が持つ特性を把握することができた。
- 画像上で形状特徴量を計測することで、粒径加積曲線に代わる指標を作成することが出来た。
- ふるい分け試験のように直接的に計測せずに、河床材料画像の画像解析をすることで、形状特

徴量を自動的に計測できた。→各画像処理についてのパラメータの設定が必要

- 円形度を計測することによって、河床材料表面の摩耗作用を把握することができた。

今後の課題

八海橋の河床材料画像を図 18 に示す。赤で囲んだ部分の河床材料のように画像の縁に位置し、見切れた河床材料が点在している。このような河床材料の形状特徴量は見切れたままで計測されてしまう。そのため、本来の河床材料の大きさや形とは異なった形状特徴量として、誤って計測されてしまう。その為、形状特徴量を計測するためにこのような河床材料を取り除く必要がある。この画像の縁に位置する河床材料を取り除いた上で形状特徴量を計測するということが今後の課題である。



図 18. 画像の縁に位置した河床材料

参考文献

- 加藤孝, 三浦博之, 畠山貴博: 鳥海ダム河床材料調査における(河床深部の)粒度分布推定方法について, 国土交通省 東北地方整備局管内 技術研究発表会 pp. 3-10, 2007
- 寺沢直樹, 山崎憲人: 巨礫を含む広い粒形分布を有する礫床河川における粒度分布調査手法, 河川技術論文集pp. 141-146, 2007
- 杉本光隆: ニューテックシリーズ 土の力学 pp. 20-23 2000