

画像解析を用いた海浜砂代表粒径の推定手法の構築

豊橋技術科学大学

学生会員 ○古川和樹

豊橋技術科学大学大学院

正 会 員 加藤茂・岡辺拓巳

1. 諸言

砂の粒度分布や粒子径を測定する一般的な方法としては、ふるい分析が挙げられる。しかし、最大粒径が2mmの試料をふるい分ける場合、200g程度の試料が必要である。この分析を多地点で繰り返し行う必要がある場合、試料の採取や分析に多大な時間と労力を要する。このような理由から加藤ら（2015）は画像解析を用いた粒度情報の取得を試みられている。この方法では、少量の試料を用いた砂粒子画像を分析することで、粒度分布や粒径の情報を推定している。実際に加藤ら（2015）は、複数の試料を用いて代表粒径の推定を行ったが、混合粒径の砂試料に関しては試料ごとの平均粒径の大小関係については再現できているが、定量的な解析には至っていない。その理由としては、解析の際にサンプルシート（分析画像）上の砂粒が多いと砂同士が接することによって粒径が大きく算出されること、または砂粒が少なすぎると砂粒の選択的な誤差が生じてしまうことなどが考えられ、実用化を目指すにあたっては、解決すべき課題が残されている。

本研究では加藤ら（2015）が開発した画像解析手法の分析精度の向上と使用条件の検討を行い、実務で利用可能な解析手法としての構築を目指した。

2. 解析方法

炉乾燥装置を用いて、採取した砂を十分乾燥させ、透明な両面テープを用いて砂を台紙（光沢紙）に貼り付けたサンプルシートを作成し、スキャナーを用いて画像を取得する。取得する画像の解像度は1200dpiを用いており、これは約0.021mm/pixelである。その後、プログラム言語Rの”EBImage”パッケージを利用して作成した解析プログラムを用いて、画像の2値化、輪郭検出等により、砂粒を検出した。

3. 台紙の色の検討

画像解析時の検出ミスが少ない台紙の色を検討した。まず、検出漏れが少なくなるように台紙の色ごとに2値化のしきい値を定め、砂粒子の検出を行った。その後、目視で検出後の画像から砂粒子の輪郭が正確に検出できているかを確認し、台紙の色ごとに検出漏

れの割合を算定した。その結果、黒色の台紙を使用した際の検出漏れが2%前後であり、他の色の台紙と比較した場合、最も検出漏れが少ないことを確認した。

4. 単一粒径における砂粒子検出

ふるい分けを行った砂は厳密には単一粒径ではないが、粒径幅は非常に狭いため、本研究では単一粒径とみなす。図-1中の地点1で採取した砂を用いて、計30枚のサンプルシートを作成し解析を行った。解析結果を図-2に示す。各色の枠はそれぞれの粒径に対応するふるい径の範囲を示している。解析の結果、30サンプル全ての平均粒径が対応するふるい径の範囲に収まった。しかし、1地点のみの画像解析では定量的な解析とは言えないため、一般的に入手可能な三河珪砂5号と豊浦砂、図-1中の地点3（六条潟）で採取した試料を用いて、同様の画像解析を行った。解析の結果、豊浦砂、地点3で採取した砂は対応するふるい径の範囲に収まったが、三河珪砂5号のみ粒径が過大評価された。この原因を明らかにするため、各試料の色の分

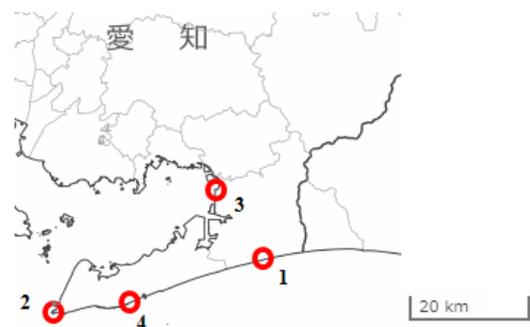


図-1 砂試料採取地点

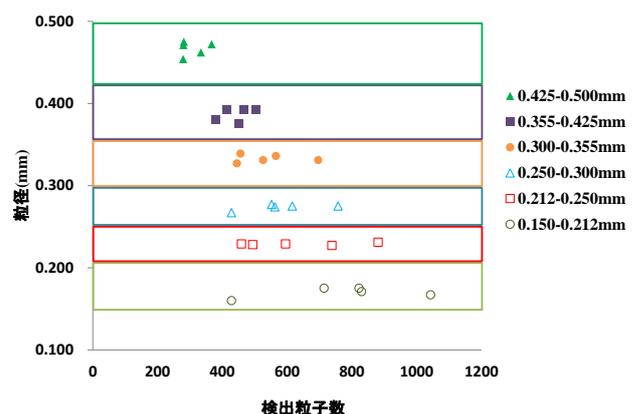


図-2 単一粒径における砂粒子検出結果

布を確認した。図-3は、三河珪砂5号のサンプルシートをグレースケールに変換した後の各ピクセルにおける色情報(0.0(黒)~1.0(白))の頻度分布を表している。図中の青色の線が平均値を表している。他の試料も同様に頻度分布を作成し、平均値を確認した。豊浦砂はほぼ正規分布で平均値は0.44程度、地点3で採取した砂は色分布の平均値が0.35程度で、比較的黒寄りの分布になった。それに対して三河珪砂5号は、色の平均値が0.68でピークは約0.8に位置しており、白色に近い砂が多かった。白色の砂粒の割合が多いと、スキャン時の光が反射したりすることで砂粒子のまわりまで白くなってデータ化されてしまうため、三河珪砂5号の粒径を大きく解析したと考えられる。しかし、本研究は遠州灘沿岸域を研究対象としており、豊橋市周辺の海岸で採取した砂の色の分布を確認したところ、豊浦砂や地点3で採取した砂に近い分布をしており、三河珪砂5号のような白色寄りの分布をした砂は見られなかった。そのため本研究では三河珪砂5号のような色の分布のピークが0.8付近に位置する砂は解析対象から外すこととした。

5. 現地試料を用いた砂粒子検出

画像解析結果である平均粒径 d_m とふるい分析結果である中央粒径 d_{50} は厳密には異なる指標である。本研究では画像解析結果とふるい分析結果を比較することで画像解析手法の妥当性を確認する必要があるが、ふるい分析では画像解析のように一つ一つの砂粒に着目し、粒子径の平均値を算出することが難しく、反対に画像解析による平面情報では砂粒の体積(重量)を算出することは難しい。そこで、今回は d_m と d_{50} を比較することで本手法の妥当性を検討した。図-1中の地点1, 2, 3において砂を採取し、ふるい分析および画像解析を行った結果を図-4に示す。図中の分析誤差は d_m と d_{50} の差で表している。なお、本研究の画像解析は0.021mm/pixelの解像度で行っているため、許容分析誤差を砂粒子の周囲1pixel(つまり2pixel=0.042mm)と設定し、黒色の点線で表している。解析の結果、検出粒子数がおよそ3000粒を超えると分析誤差が徐々に一定の値に近づくことがわかる。よって、砂粒を3000粒程度検出すれば、ある程度妥当な代表粒径を示せるのではないかと予測した。そこで図-1中の地点4で採取した砂を用いて、3000粒以上検出するように解析を行った。その結果を表-1に示す。表より3000粒

程度検出すれば分析誤差は許容範囲に収まるため、本画像解析の妥当性が示されたと考える。

6. 結論

ふるい分けした砂の解析では検出粒子数が少ない場合でも対応するふるい径範囲に解析結果が収まるため、単一粒径砂は精度よく解析が行えることを明らかにした。さらに混合粒径砂では検出粒子数が少ない場合は分析誤差が大きくなる傾向にあるが、砂粒子を3000粒程度検出すればある程度妥当な値を示すことを明らかにした。ただし、画像解析結果である d_m は、いずれのケースにおいてもふるい分け試験結果である d_{50} よりも粒径が大きく解析されていることに注意し、-0.04mm程度の誤差を考慮しなければならない。

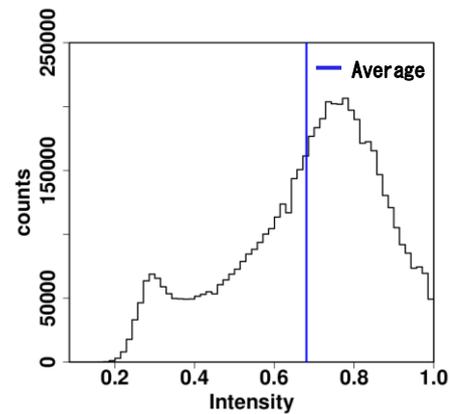


図-3 三河珪砂5号の色情報の頻度分布

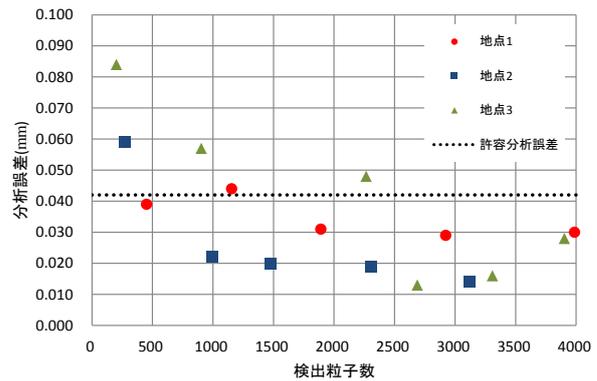


図-4 検出粒子数と分析誤差の関係

表-1 地点4で採取した試料を用いた検定結果

	d_m (mm)	d_{50} (mm)	分析誤差(mm)	検出粒子数
1回目	0.241	0.204	0.037	3220
2回目	0.235		0.031	3581
3回目	0.245		0.041	3454
4回目	0.234		0.030	3919

参考文献

加藤茂, 村田光彦, 井手美里, 岡田拓巳 (2015): 砂浜海岸における化学元素含有量と表層砂粒度の分布特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.L703-L708, 2015