

砂粒径分布の画像解析手法の開発

AN IMAGE ANALYSIS FOR THE DISTRIBUTION OF SAND GRAIN SIZE

青柳明¹・田中勝也²・香取完和³・久保田進⁴・竹澤三雄⁵

Akira AOYAGI, Katuya TANAKA, Sadakazu KATORI, Susumu KUBOTA, Mituo TAKEZAWA

¹ 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒101-8308 神田駿河台 1-8-14)

² ㈱コストアルエンジニアリング (〒113-0033 文京区本郷 5-23-13 田村ビル 3F)

³ 正会員 工修 ㈱コストアルエンジニアリング (〒113-0033 文京区本郷 5-23-13 田村ビル 3F)

⁴ 正会員 工博 日本大学理工学部助教授 土木工学科 (〒101-8308 神田駿河台 1-8-14)

⁵ 正会員 工博 日本大学理工学部教授 土木工学科 (〒101-8308 神田駿河台 1-8-14)

A system consisted of a personal computer and a digital video camera was developed for measuring a distribution of sand grain size. A sample of beach sand which had a median diameter of 0.28mm was prepared in order to check this system. The distribution of sand grain size measured by this system was agree well with the data from the sieve analysis. Major advantages are that this system requires smaller amount of sand sample (2000~2500 grains) and less time for analysis than these for sieve analysis.

key words: grain size analysis, image analysis

1. はじめに

海洋・海岸に構造物を設置したり、漂砂対策を講じる際に、そこでの地盤特性や漂砂特性を知るために砂の中央粒径や粒度分布を調べることが必要である。

砂質海岸の砂の粒径分布は一定ではなく、場所によってあるいは季節によって変化することが古くから知られている。また、これを時空間的に調べることによって、その海岸の漂砂源や漂砂方向、さらには地形変化の限界水深などを推定することも良く行われていることである。このような場合には、現地の砂を 500~600 g 採取してきて、ふるい分け試験を行い、中央粒径値、ふるい分け係数、偏わい度などの代表値を求めることが通常行われているが、多点で繰り返し砂を採取するとなると膨大な量となり、運搬や分析が大変になる。

最近、波による砂の分級効果や混合粒径の場合の漂砂現象などが着目されるようになり、粒度分布変化を追跡する実験も行われるようになってきている。このような実験の場合には実験中に砂を多量に採取することは困難であり、少量のサンプルからでも粒度分布を求めることができれば有益と考えられる。

以上のような状況の中で、少量の砂粒子群からでも粒度分布を測定できる方法として、パソコンとビデオ

カメラを用いたシステムを開発した。

2. 画像解析システム

本研究では、少量の砂粒子を撮影してデジタル画像データ化し、砂粒子内に占める画素数から粒径を算定する手法を開発した。この手法によれば、0.2mm 程度の細砂に対して 0.1mm/画素以上の解像性能を満足する撮影を行えば十分な解析精度が得られる。

なお、本手法開発の前提条件として個々の砂粒子は球形であり、比重は同一であると仮定した。

(1) システム構成

本システムの機器構成を図-1 に示す。画像解析処理装置としてのパーソナルコンピュータ(PC)は、画像取込みに用いるDV静止画キャプチャボードの制限により、CPUはPentium 200MHz 以上、PCIバスは1スロット、メモリは64MB 以上、ビデオボードとディスプレイドライバはSVGA(800×600ピクセル)で65536色以上表示可能なもの、およびOSはMicrosoft Windows95 (Microsoft Windows3.1 およびNT環境での動作は不可) という条件を満たすIBM PC/AT またはその互換機である必要があり、本システムにおいては富士通 FMV-DESK POWER T20 を用いた。

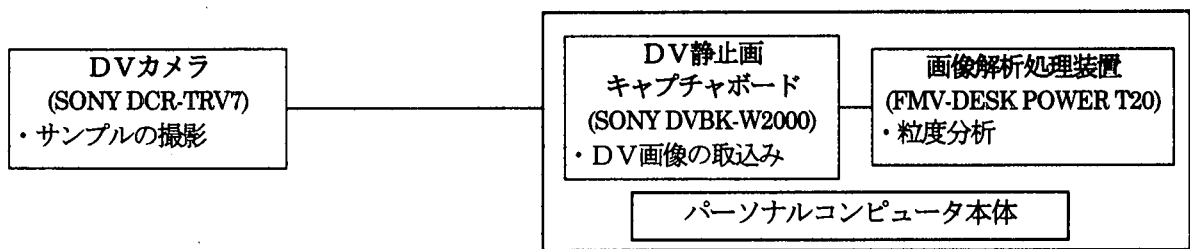


図-1 画像解析システムの機器構成

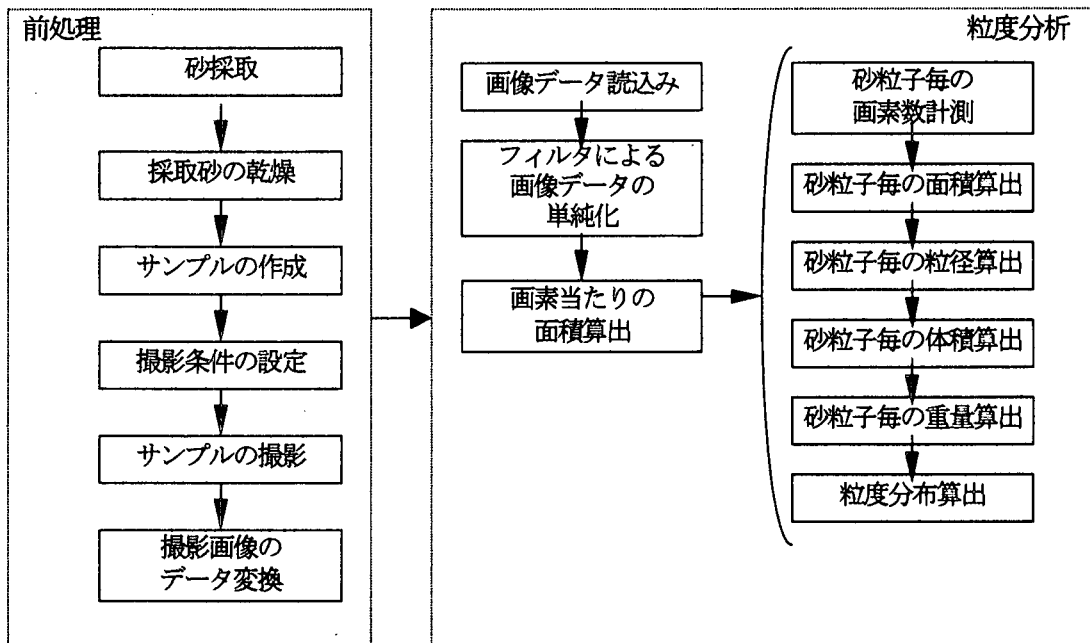


図-2 作業手順

本システムの作業手順を図-2に示す。システムは、画像データを作成するまでの前処理と、画像データから砂粒子毎の解析を行う粒度分析の2つに分けられている。このため、スキャナ等により作成した画像データについても粒度分析を行うことができる。また、粒度分析は、複数の画像データを連続して実施可能なようにシステム化されている。

a) 前処理

前処理は、採取した砂を十分乾燥した上でDVカメラにより撮影し、PC上で様々な処理が可能なデジタル画像データへ変換する処理である。

当初、採取砂全体を簡便に撮影する方法として、砂粒子を斜面上に落下させ滑り落ちる様子を撮影する方法を考案した。試行の結果、砂粒子の落下速度は大きく、現状の撮影機材では、1秒当りの撮影コマ数とシャッタースピードの関係により砂粒子が鮮明に写らない問題が生じた。そこで、台紙に採取砂同士が接しない様に撒き散らし、DVカメラにより撮影し、DV静止画キャプチャボードを介してPCへ取込む方法を行った。台紙は画素と実際の長さに関連付けるため1mm

方眼紙(青色)とした。

本システムの機材による画像データは、640×480画素の各原色が256階調のカラー画像データである。細かい粒径まで計測するために、撮影は砂粒子にピントが合った状態でできるだけ接写する必要がある。今回は、0.15mm以上の粒径を対象として52×39mmの範囲を撮影した。この場合、およそ0.08mm/画素の解像度を示す。さらに細かい粒径を測定する場合は、接写性能が高く、総画素数の多い機材により画像データを作る必要がある。

DVカメラで撮影した画像は、DVカメラとDV静止画キャプチャボードをDVケーブルにより接続し、キャプチャボードに付属のソフトウェアを用いて画像データに変換する。本システムでは、画像データ形式としてJPEGおよびBMP形式を用いることができる。画像データサイズは、BMP形式で900KB程度、JPEG形式では画像を圧縮して保持するため250KB程度とBMP形式に比べ30%弱と効率よく記録できる。このため、JPEG形式では節約されるディスク領域は非常に大きい。JPEG形式は、一方で伸長した画像と元の画像が常に一

致するとは限らない不可逆性を持っているが、変換時に最高画質を指定することによりこの問題を回避することができる。

b) 粒度分析

粒度分析は、取込んだ画像データを各種フィルタにより単純化した後に、砂粒子と認識した画素を抽出し、粒径、体積、重量および粒度分布を算出する処理である。なお、重量は従来のふるい分け試験結果と比較するために求めている。

取込んだ画像データは、台紙の方眼が入った各原色256階調のカラー画像であり、砂粒子の認識が難しい。そこで、本システムでは白黒、赤、緑あるいは青の画像フィルタを用いて濃度値で表される白黒画像に変換する。さらに、しきい値を用いて濃度値を2値化処理し単純化する。この変換により、画像データは方眼やノイズ的なものが取り除かれ採取砂のみが残るので、砂粒子の認識が容易となる。

砂粒子を構成する画素は、図-3に示す上下左右で連結されたものとした。この場合、砂粒子の数は6個と認識される。

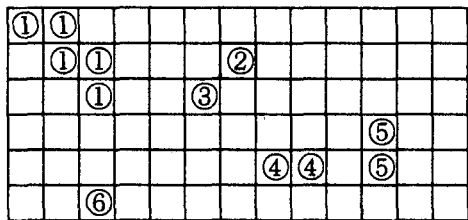


図-3 砂粒子を構成する画素の定義

次に、単純化した画像データを用いて粒度分析を行う。画像データの砂粒子は平面的に撮影されたものであり、実際の形状は不特定のものである。このため、本システムでは砂粒子を球体と仮定し、粒径、体積を求め、比重の代表値を使って重量を算出した。

3、解析精度の検定

本手法で良好な粒度分析を行うためには、フィルタの選定、最適しきい値の決定、および計測範囲当りの砂粒子数の検討が必要である。解析用のフィルタとして白黒、緑、赤、青の各フィルタを試したところ、いずれのフィルタも結果に大きな違いが見られなかった。そこで今回は青色方眼を消すために青フィルタを使用した。

(1) しきい値の決定

しきい値とはある値を「以上」と「未満」に2分するための境界値で、画像処理を行う際、各画素について、濃度にしきい値を設定することにより1(黒)、0(白)

と2値化することができる。

砂粒子数が正確に測定されているかを検討するため、あらかじめふるい分けされた各粒径範囲毎の砂を用いてしきい値を50、60、70、80、90に変化させ、画像分析を行い砂粒子数を求めた。決まった粒径範囲にあるものを用いることにより粒径に対する妥当性を検討すると共に、画像上の総砂粒子数の目測結果と比較した。本手法で計数された総砂粒子数を目測した総砂粒子数で除したものを計測率として表-1に示す。しきい値が小さいと大きな粒径は検出できるが小さな粒径に関しては計測ができなくなり実際の個数よりも少なく計数されてしまう。また、しきい値90の場合には各粒径全般にわたって目測個数よりも多くの砂粒子を計数してしまっている。これは砂以外の埃等まで計測しているためである。総砂粒子数の計数においてはしきい値80が最も良く計測率が平均95%であるが、測定の限界値に近い小さい粒径の0.105mm~0.149mmを除けばしきい値を下げて計測率は高く、しきい値60においても計測率は93%程度である。

次に粒径の計測について検討する。各粒径毎の画像分析の結果は図-4のようになった。ほとんどの粒径範囲においてしきい値60の場合に本来あるべき粒径範囲にピークが一致している。粒径の大きい部分に重みをつけるならばしきい値70でも良さそうである。各粒径範囲とも多少の誤差が生じているが、過大評価となる場合は砂粒子同士が接しているか、細長い砂粒子に対する扱い方の違いによるためと考えられる。過小評価となる場合は、主に透明度の高い砂粒子(例えば石英・長石など)を計測しているためと考えられる。0.297mm以上の比較的大きな粒径範囲に見られる小さい粒径側のピークは透明度の高いものが過少評価されたためと考えられる。

個数の一致という点においてはしきい値60~80が良いが、粒径の測定という点ではしきい値60~70が妥当性を示している。以下ではしきい値60として検討を行った。

表-1 総砂粒子数の計測率

しきい値 粒径(mm)	50	60	70	80	90
0.105~0.149	0.57	0.69	0.85	0.93	1.01
0.149~0.210	0.88	0.94	0.97	1.00	1.09
0.210~0.250	0.78	0.79	0.83	0.85	0.98
0.250~0.297	0.90	0.91	0.92	0.95	1.07
0.297~0.350	0.87	0.87	0.90	0.93	1.05
0.350~0.420	1.00	1.00	0.97	0.97	1.19
0.420~0.710	1.06	1.06	0.93	1.01	1.24
平均	0.86	0.89	0.91	0.95	1.08

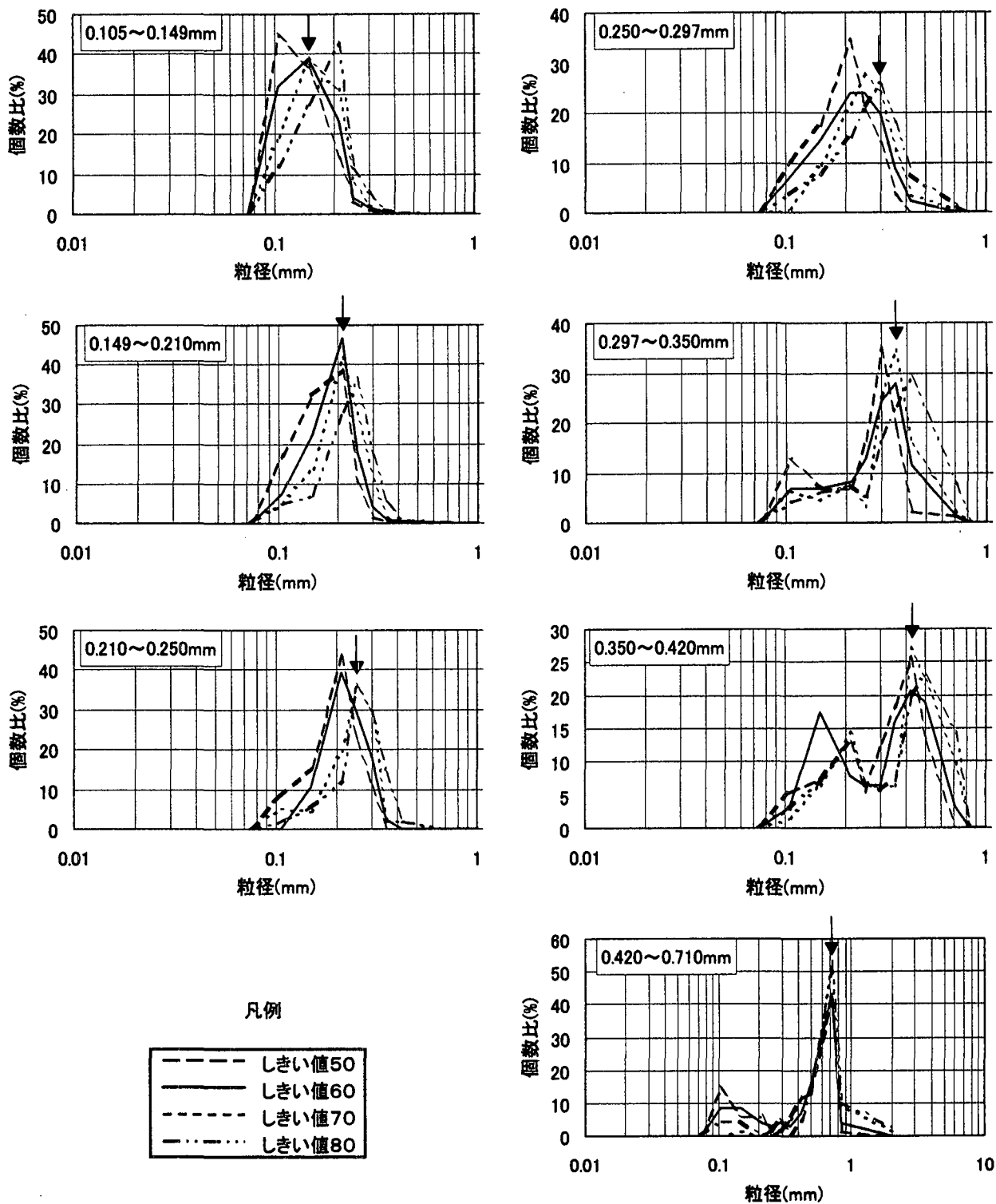


図-4 各粒径範囲毎の計測結果

(2) 最適砂粒子数の決定

画像分析を行う際、砂粒子数が多いと砂同士が接することにより誤差が生じ、少なすぎると選択的な誤差が生じる。そこで分布形状がふるい分け試験結果と近似する砂粒子数を検討しておく必要がある。前述の通りしきい値60を用いてサンプルの砂粒子数を計測面積(50mm×36mm)あたり500、1000、2000、3000、4000粒と変化させて分析を行い、ふるい分け試験結果と比較した(図-5)。

結果は約1000粒以上になると大きい粒径が多くなる傾向にある。これは測定面積当りの砂粒子数が多すぎるため砂粒子同士が接してしまい大きな粒径として計測されてしまうためと考えられる。

一方、ふるい分け試験の結果から大きい側の粒径範囲である0.420~0.710mmに少なくとも1~2個の砂粒子が含まれるためには200個程度以上の砂粒子が必要となる。

そこで、まず耳かき程度のスプーンで7分目程度、

砂をすくい、これを計測範囲に砂粒子同士が接しないように均等にばら撒き計測した。砂粒子数は約600個であった。計測範囲の砂粒子の状況を図-6に示す。分析の後、砂粒子に振動を与えて計測範囲内での配置を変化させて再計測をした。これを繰り返し合計5回行った。次に砂粒子を別の台紙上に戻しできるだけ分布が変化しないように注意して約1/4を捨てて個数が約3/4になるようにして5回の計測を行った(約500個の場合)。同様に約400個の場合、約300個の場合についても分析を行った。いずれの場合も5回の繰り返し計測のばらつきは小さくまた、約600個～約300個で個数比分布もほぼ同様であった。図-7に例として約500個のケースの計測結果を個数比分布で示す。5回のばらつきの理由は透明度の高い砂粒子の向きや姿勢が変わることにより計測個数に変化が生じるためと考えられる。

最後に計測面積当り約600個～約400個のサンプルを5つ作り計測した。計測結果を重量分布として図-8に示す。各ケースの分布にはばらつきが見られる。これは、1サンプル当り500粒程度の砂を採りだす際の誤差と考えられる。このことは、分布形状を正しく測定するためにはさらに多くの砂粒子が必要であることを示している。そこで、これら5つのサンプルの計測結果を加え合わせて約2500個について、ふるい分け試験の結果と比較した。結果を図-9に示す。ふるい分け結果には0.297mmに顕著なピークがあるが、本システムの計測結果にはそのピークが現れていない。これは、透明度の高い砂粒子がこの範囲に多く存在し、これを本システムが過小評価しているためであると考えられ、この点については現在のところ解消できておらず今後の課題である。しかしながら、累加曲線でみればふるい分け試験結果と良い一致を示しており、中央粒径値、さらにはふるい分け係数についても同様な値を示している。従って、このような代表値で評価できる事柄については本手法を用いることに問題はないと考えられる。

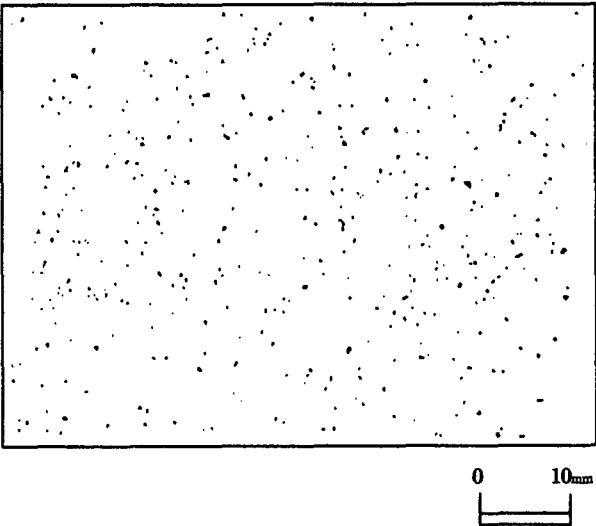


図-6 計測範囲内の砂粒子(約600粒の場合)

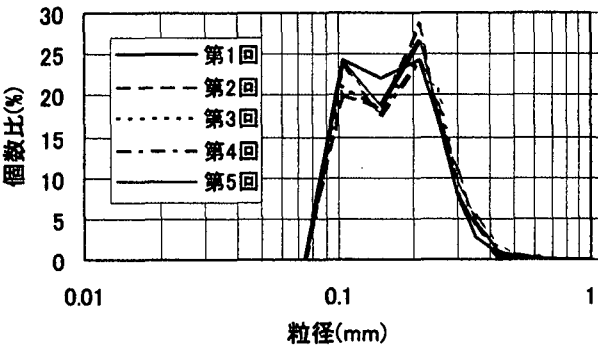


図-7 砂粒子数約500個の場合の繰り返し計測結果

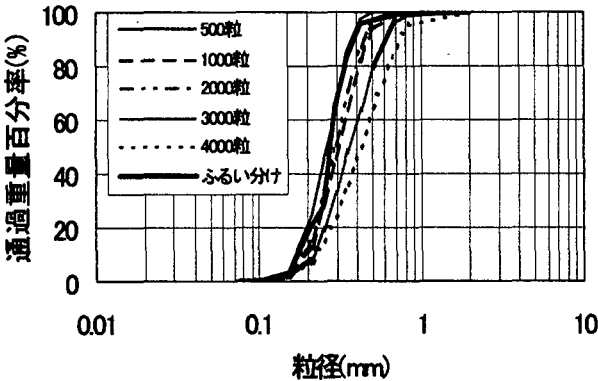


図-5 計測面積当りの砂粒子数の違いによる計測結果

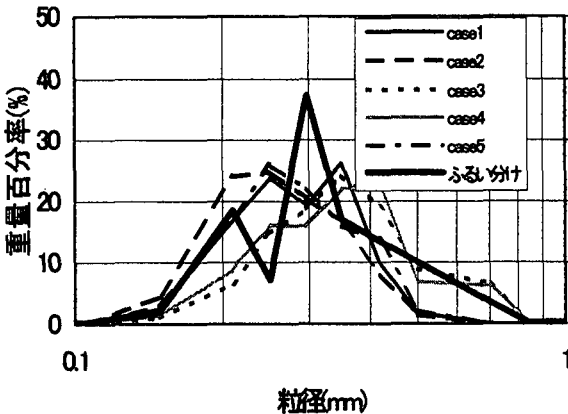


図-8 5サンプルの各計測結果とふるい分け試験結果との比較

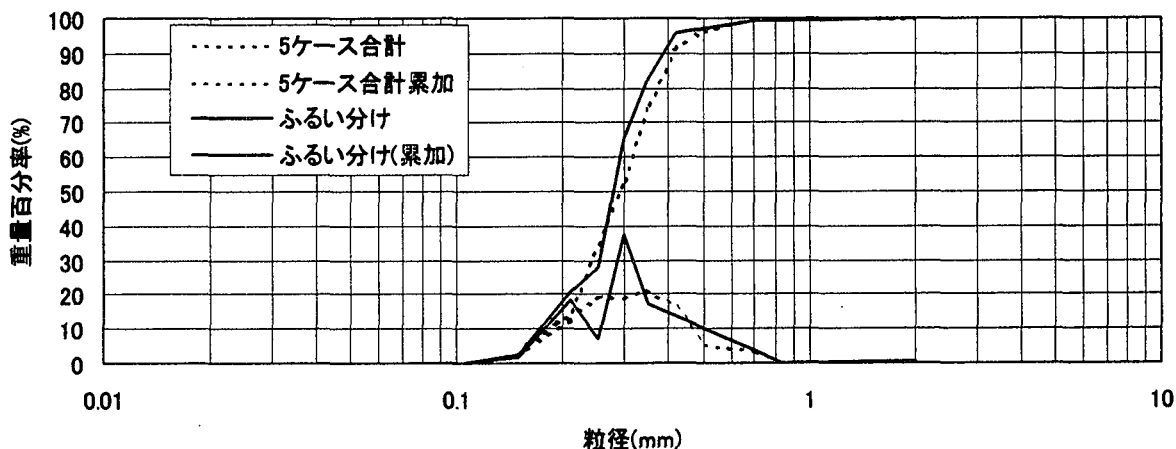


図-9 5 サンプルの計測結果を合計したものとふるい分け試験結果との比較

4. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

(1)少量の砂で粒度分布を簡便に計測できる画像解析手法を開発した。

(2)本手法では計測範囲(50mm×36mm)当り約500個の測定密度が最適であり、粒度分布の測定を行うためには同一密度で2000個～2500個の計測を行えば良いことが分かった。

(3)中央粒径0.28mm程度の細砂海岸(千葉県一ノ宮海岸)の砂を用いて本システムによる計測結果とふるい分け試験結果と比較したところ、分布については透明度の高い砂粒を過小評価することによる違いが現れたものの累加分布は良い一致を示した。

(4)従って、中央粒径値などの代表値を求める場合には十分に使用しうるものと考えられる。

しかしながら、本論文は細砂を対象とした検定であって、粗砂や礫については別途検定が必要になる。また、透明度の高い材質についての測定方法については今後さらに検討してシステムを改良する予定である。

謝辞：検定用の底質の採取および分析には日本大学理工学部学生の水澤秀樹君および森田武治君の協力を得た。ここに感謝の意を表します。

(1999. 4. 19 受付)