

画像解析による骨材の粒度分布の推定に関する基礎研究

金沢大学大学院 学生員 ○DANG Giang Hoang  
金沢大学大学院 正会員 五十嵐 心一

1. はじめに

コンクリートの維持管理や品質管理を目的として様々な種類の画像が取得されている。その2次元の画像情報から実際のコンクリートの3次元の情報を引き出すことは、画像診断の基本的な過程である。

コンクリート研磨面に現れた骨材の様子から、骨材の空間情報や粒度分布を知ることは、コンクリートの品質管理において重要であるが、その一方で、これを解析的な厳密解として正確に求めることはできず、何らかの仮定を必要とする。一般にはその粒子をすべて球であると仮定し、Schwartz-Saltykov法<sup>1)</sup>を用いて粒度分布が求められている。しかし、Schwartz-Saltykov法はその計算のアルゴリズムから、解析の前提条件を変化させると著しく不合理な結果を与えることがあり、骨材粒度分布の推定にも注意を要する。

本研究においては、2次元断面の骨材分布から合理的に骨材の粒度分布を推定することを目的として、信頼性の高い適切な推定結果が得られるように制約条件を導入したSchwartz-Saltykov法の有効性について述べる。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

使用セメントは普通ポルトランドセメント（比表面積：3310 cm<sup>2</sup>/g）である。細骨材として川砂（FM=2.81）および陸砂（FM=3.24）、粗骨材としては最大粒径が20mmの碎石および25mmの川砂利を使用した。JIS R 5201、JSCE-F506およびJIS A 1132にしたがって、モルタル角柱供試体（4cm×4cm×16cm）およびコンクリート円柱供試体（φ10cm×20cm）を作製した。モルタル供試体は水セメント比が0.65で、川砂を用いたセメント：骨材比が1:1、1:2の2種類（供試体名：M1、M2）である。コンクリートは水セメント比が0.50であり、骨材の種類および最大粒径（Gmax）を変化させたほぼ同一の骨材体積率の2種類（C1、C2）である。打設後24時間において脱型し、20℃の水中養生を行った。コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの示方配合

| 試料 | W/C (%) | G <sub>max</sub> (mm) | 細骨材 | 粗骨材 | s/a (%) | Air | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |      |
|----|---------|-----------------------|-----|-----|---------|-----|-------------------------|------|-----|------|
|    |         |                       |     |     |         |     | 水                       | セメント | 細骨材 | 粗骨材  |
| C1 | 50      | 20                    | 陸砂  | 碎石  | 46      | 4.5 | 160                     | 320  | 830 | 985  |
| C2 | 50      | 25                    | 川砂  | 川砂利 | 44      | 1.4 | 161                     | 322  | 828 | 1057 |

2. 2 画像取得および画像解析

材齢28日において供試体断面を切り出し、耐水研磨紙を用いて表面を注意深く研磨した。その後、スキャナーを使用し、M1、M2のモルタル供試体から視野30mm×30mmにて5枚、C1、C2のコンクリート供試体から視野70mm×70mmにて2枚の断面のカラー画像を、解像度800dpiにて取得した。この時、1画素は31.75μmに相当する。得られた断面画像からエッジ抽出法を用いて2値化処理を施し、骨材相を抽出した2値化画像を得た。

2. 3 粒度分布の推定

(1)2次元円相当径による分布 単位厚さの仮定を行い、それぞれの骨材粒子を面積の等価な円に置き換えた。これらの円を粒径順に並べかえ、さらに、骨材密度を用いて質量ベースの粒度分布を求めた。

(2)Schwartz-Saltykov法に基づく3次元の粒度分布

画像上で計測した骨材粒子を円相当面積の大きい順にN個のグループに分け、Schwartz-Saltykov法を用いて、骨材の3次元の粒度分布を推定した。この時、各グループに属する粒子個数は以下の式にて計算される。

$$N_a(i,j) = N_v(j) \frac{D_{max}}{N} (\sqrt{j^2 - (i-1)^2} - \sqrt{j^2 - i^2}) \quad [1]$$

$$N_A(i) = \sum_{j=i}^N N_a(i,j) \quad [2]$$

ここに、Dmax：画像上の最大粒径、N：粒径の大きさのグループ数（N=10とする）、Nv(j)：単位体積中におけるグループjの粒子個数、NA(i)：単位面積中におけるグループiの粒子個数、Na(i,j)：粒径グループjによって生じた単位面積中におけるグループiの粒子個数である。

本研究においては粒径のグループ数を7および15とし求められた各グループの粒子個数から粒子体積を求め、密度を乗じることにより粒度分布を計算した。

(3)制約条件の導入 一般にSchwartz-Saltykov法は粒

キーワード 画像解析、エッジ抽出法、Schwartz-Saltykov法

連絡先 〒920-0092 石川県金沢市角間町 金沢大学自然科学研究科社会基盤工学専攻 TEL :076-264-6373

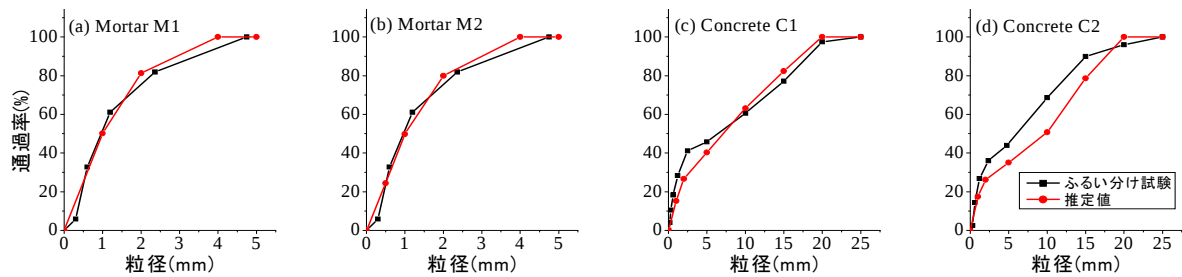


図-1 2次元円相当径を基にした推定粒度分布と実測値の比較

子を 7~15 のグループ数に分けて適用する場合が多い。しかし、コンクリート断面には粒子個数が多いため、グループ数の変化にともない、推定結果は著しく変動する可能性がある。そこで、本研究では、2次元断面中の骨材相の面積率が計算された3次元空間の体積率に等しくなるという制約条件を導入し、この条件が満足されるまでグループ分割数を変化させて、計算を繰り返し、同様に骨材の質量ベースの粒度分布を推定した。

### 3. 結果及び考察

図-1は、骨材粒子の円相当径を用いて得られた粒度分布と、骨材のふるい分け試験の結果を比較して示したものである。いずれのモルタル供試体においても、粒度分布の測定原理は異なるにもかかわらず、推定値とふるい分け実測値の間の相違は小さく、骨材粒子が適切に抽出できていれば、その粒度がおおよそ推定できることになる。一方、コンクリートの場合は、両者の相違は比較的大きく、細骨材の区間（粒径 $\leq 5\text{mm}$ ）においては両配合のコンクリートとも推定値がふるい分け試験結果を大きく下回り、 $G_{\text{max}}=25\text{mm}$ の場合は、大径にいたるまでの一致性が低い。これは2次元断面では小さな粒子が現れる確率が低くなることの影響と考えられる。

図-2はSchwartz-Saltykov法により推定した3次元の粒度分布曲線を示したものである。モルタルの場合は、グループ数の影響はほとんどなく、いずれの3次元分布ともほぼ一致し、また、ふるい分け試験結果との差も小さい。しかし、コンクリートの場合は、グループ数によって推定された粒度分布は大きく異なり一般にSchwartz-Saltykov法で用いられる分割数15を用いたとしても、実際のふるい分け試験結果とは大きく異なる。

しかし、粒度分布から求められる体積率は2次元断面の面積率に等しくなければならないという制約条件を導入すると推定された粒度分布はいずれの供試体においても、実測値とかなりよく一致し、特に、 $G_{\text{max}}=20\text{mm}$ のコンクリートC1ではふるい分け試験結果とほぼ一致し

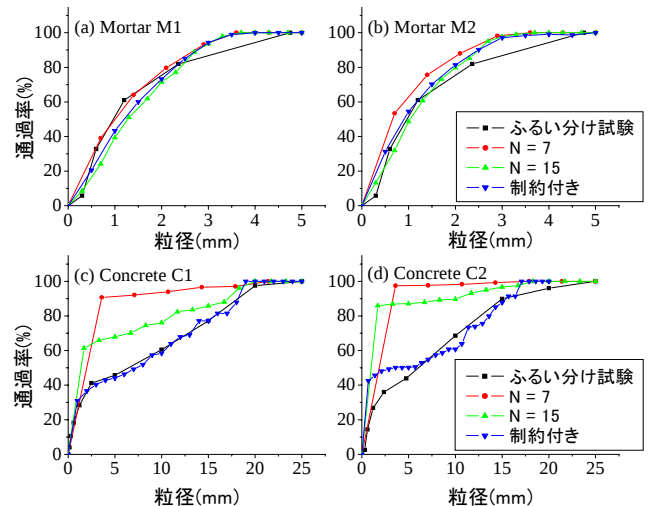


図-2 Schwartz-Saltykov 法による粒度分布の推定

ている。制約条件から最適と判断された分割数はモルタルおよびコンクリートで、それぞれ約10および26程度であり、Schwartz-Saltykov法の適用範囲( $7 \leq N \leq 30$ )内の分割数でもある。

一般にコア断面の画像から骨材の粒度分布を推定する場合、骨材試験データは不明であるので、本研究のようにふるい分け試験結果と比較して妥当性を判断することはできない。一方、測定原理が異なるのでふるい分け試験結果と整合することが必ずしも要求されるわけでもないが、少なくとも体積率を一致させるという単純な制約条件の付加により、合理的な粒度分布が得られるものと考えられる。

### 4. おわりに

断面に現れた骨材粒子の円相当径を求めることによりモルタル中の骨材の粒度分布を推定することが可能である。これに対して、コンクリートの場合、2次元断面の骨材面積率が推定体積率に等しいという条件を付与することにより、Schwartz-Saltykov法で推定した精度は著しく改善され、妥当な粒度分布が得られるようである。

### 参考文献

- 1) Schwartz, H.A., Metal Alloys, vol. 5, p.139, 1934.