

## コンクリート中の骨材の空間分布の特徴

金沢大学大学院 学生会員 ○Dang Giang Hoang  
 金沢大学大学院 正会員 五十嵐 心一

### 1. はじめに

骨材が適切な物理的性能を有し、化学的にも安定である限り、粗骨材や細骨材は安定な増量材として機能する。したがって、骨材粒子の性能をコンクリートの性能発現に関係付けて詳細に検討されることは多くはない。しかし、その一方では、コンクリート中の体積70~80%を占める骨材の分布状態が、コンクリートの性能に及ぼす影響は少なくはないと考えられる。材料分離の例を挙げるまでもなく、骨材の分布構造はセメントペースト相の空間構造、ひいてはマイクロレベルにおける空隙相の分布にも影響を及ぼす。しかし、そのような骨材の空間構造を詳細に検討した例は少ないようである。

本研究においては、モルタルおよびコンクリート中の骨材粒子の空間構造を2次のステレオロジー関数により評価し、骨材量や骨材寸法が骨材の空間分布に及ぼす影響を定量かつ直観的な相違として理解することを目的とする。

### 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、粗骨材としては最大粒径が10mmの豆砂利および25mmの川砂利、碎石を使用した。JIS R 5201 および JSCE-F506 にしたがって、2種類のモルタル角柱供試体(4cm×4cm×10cm) および4種類のコンクリートの円柱供試体(φ10cm×20cm)を作製した。打設後24時間において脱型し、20°Cの水中養生を行った。モルタル(M1, M2) およびコンクリート

(C1~C4)の配合を表-1に示す。

#### 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のモルタル研磨供試体から視野3.0cm×3.0cmにて5枚、C1,

表-1 配合表

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
M1	65	5	川砂	-	100	0.0	481	740	740	0
M2	65	5	川砂	-	100	0.0	375	577	1154	0
C1	50	10	川砂	豆砂利	43	3.0	157	314	807	1031
C2	50	25	川砂	川砂利	44	1.4	161	322	828	1057
C3	50	25	陸砂	碎石	46	4.5	160	320	830	985
C4	30	25	陸砂	碎石	46	4.5	160	533	749	889

C2, C3, C4のコンクリート供試体から視野7.0cm×7.0cmにて2枚の断面のカラー画像を、解像度800dpiにて取得したこのとき、1画素は31.75μmに相当する。

カラー画像からエッジ抽出法を用いて、骨材相を着目相とする2値像(W)を取得した。

#### 2. 3 2点相関関数

2点相関関数とは、ある長さrを持った線分を画像上に落した時、その両端が同一相上に載る確率関数である。線分の両端の座標をx<sub>i</sub>, x<sub>j</sub> (r=|x<sub>j</sub>-x<sub>i</sub>|)とすると、2点相関関数S<sub>2</sub><sup>(Y)</sup>(r)は[1]式のように定義される。

$$S_2^{(Y)}(r) = E[1(x_i \in Y) \times 1(x_j \in Y)] \quad [1]$$

ここに、Yは着目相であり、1(·)は指示関数であり、(·)中の条件が正のときは1、そうでない場合は0を与える。また、E[ ]は期待値を意味する。

#### 2. 4 L関数(L(r))

着目相粒子重心の座標(x<sub>i</sub>; i=1...n)を求め、これを点過程X={x<sub>n</sub>}とした。このとき、任意の点x<sub>i</sub>∈Xから距離rの範囲内の点の個数よりL関数(L(r))を求めた。

$$L(r) = \sqrt{\frac{E \sum_{x \in X \cap W} N(b(x,r) \cap X)}{\hat{\lambda} E N(W)}} / \pi \quad [2]$$

ここに、N(W)は領域W内の個数、b(x,r)は点xを中心とする半径rの円、λ̂は画像点密度である。

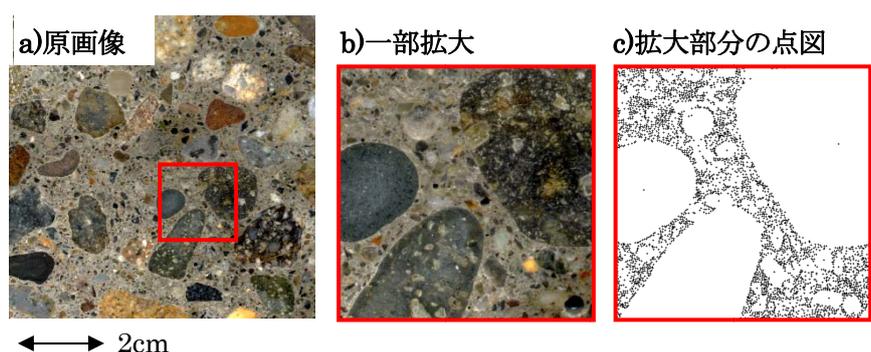


図-1 コンクリートC2の骨材相

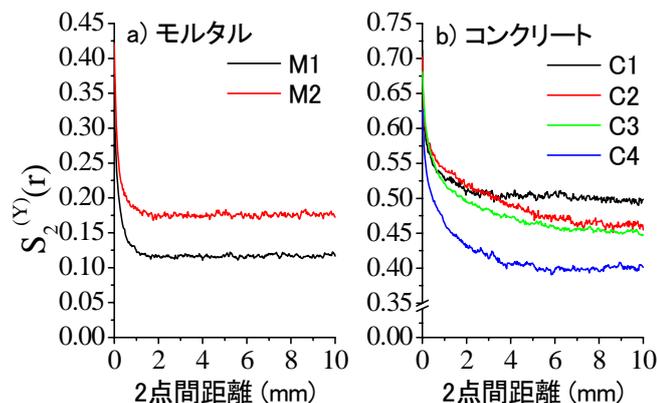


図-2 骨材粒子の2点相関関数

### 3. 結果及び考察

図-1は骨材相の2値化画像および骨材粒子の点パターンである。目視的には粗骨材の点の周囲では点は疎であり、骨材には排他性があるように見える。

図-2は骨材粒子の2点相関関数を示したものである。空間分布を特徴付ける正の相関距離（構造距離）はいずれのモルタルとも約2mmであり、コンクリートC1, C2, C3, C4の構造距離はそれぞれ約4mm, 8mm, 8mm, 6mm程度であった。骨材の最大粒径が大きくなるほど構造距離は増大するが、その一方で同一最大粒子径であっても骨材量が減少すると、より小さな分散構造単位になるようである。

表-2は供試体中の骨材の体積率および粒子個数密度を示したものである。画像解析により求めた骨材の体積率は配合値と良く一致しており、図-2の相関距離も考え合わせると、適切な観察領域であったと考えられる。また、骨材粒子の点密度に注目すると、コンクリートC4はコンクリートC3に比べて骨材の体積率が低いにもかかわらず、点密度がC3よりも大きい。

図-3は骨材粒子をその重心点で代表させたときのL関数を示したものである。比較のため、図中には完全なランダム分布（ポアソン分布）に対応する関数を破線にて示してある。この関数よりも大きな値では、点には凝集性があることを意味し、小さな値は規則性があることを意味する。図-1からも理解されるように粒子を点に置き換えると、元の粒子自身が大きさを持っているために、他の点はその粒子寸法の範囲内に存在できない。したがって、点の周囲には排他的な領域が形成されることになり、その領域は最大骨材寸法とともに大きくなると考えられる。しかし、図-3では点が排他的で完全ランダムよりも規則的な配置をとる領域

表-2 骨材粒子の抽出結果

試料	配合値(%)	推定値(%)	密度(個/mm <sup>2</sup> )	
モルタル	M1	28.4	31.1	3.66
	M2	44.2	42.4	6.66
コンクリート	C1	71.6	70.4	15.02
	C2	72.5	71.2	7.91
	C3	69.1	68.1	3.94
	C4	62.4	62.3	5.51

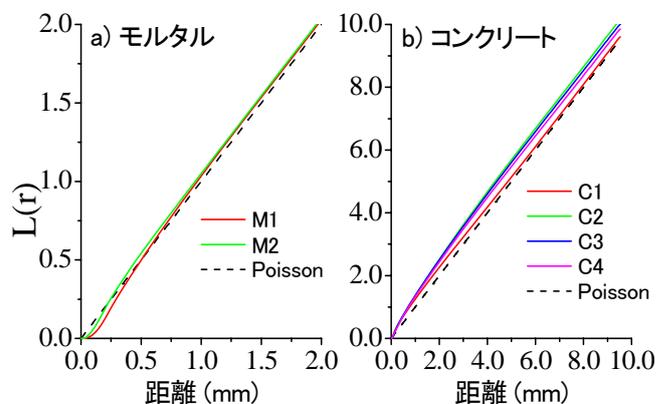


図-3 骨材粒子のL関数

はモルタル供試体のみにてわずかに観察され、細骨材寸法に対応した排他性が現われているようであるが、コンクリートにはそのような領域は存在しない。むしろ、コンクリート供試体では点過程としては小さい距離から凝集側に分布し、その凝集性は最大骨材寸法が大きくなるほど強く現れている。このことより、十分に練り混ぜられたワーカブルな配合であっても、骨材は均一に分散しているとはいえないこと、さらには粗骨材の存在が他の粒子の凝集性の原因となりうる事が分かる。しかし、その一方において、図-3および表-2に示すように、同一の骨材、同一の細骨材率であっても、点密度の高いコンクリートC4はコンクリートC3に比べると凝集性は小さく現われている。すなわち、骨材の絶対量が減少することにより細骨材に起因すると思われる局所的な凝集性が緩和されている。以上のような変化はコンクリートのワーカビリビティや硬化後の不均質な多孔質領域の分布に影響を及ぼすことが考えられる。[1]

### 4. おわりに

コンクリート中の骨材の空間分布には凝集性が存在し、粗骨材の存在が細骨材を局所的に凝集させることが定量的に示された。また、その細骨材の凝集性は粗骨材の最大粒子径の増大とともに大きくなる。

**参考文献** [1] Diamond, S. and Thaulow, N., Cem. Concr. Comp., Vol.28, pp.606-612, 2006.