

リニアトラバース法と点過程法による気泡間特性値の比較

金沢大学 学生会員 ○寺澤 佑丞
金沢大学 正会員 五十嵐 心一

1. 序論

コンクリートの気泡分布は従来 ASTM C457 に規定された手順に従って求めた気泡間隔係数により評価されてきた。これに対して、著者らは気泡を点で代表させた点過程とみなし、低倍率の気泡画像に対する2次のステオロジー関数から、気泡間距離特性値を求める方法を提案している¹⁾。しかし、全く同一の画像に対して両者の方法で気泡分布を評価し、その異同を明らかにしてきたわけではない。

本研究においては、全く同じコンクリート断面に関して、ASTM 法と点過程法で気泡空間分布を評価し、気泡間隔特性値の比較を行うことを目的とする。

2. 実験概要

(1) 供試体の配合と画像取得

使用したコンクリートは、W/C=0.5 の普通コンクリート (Gmax=20mm) であり、10cm×10cm×40cm の角柱供試体を作成し、水中養生を行った。コンクリートの配合を表-1 示す。

所定材令にて供試体から厚さ 30mm 程度の板状供試体を切り出し、切断面の研磨を行った。研磨面の中央部の約 60mm×60mm の部分を 11×11、計 121 枚正方形の小分画に分割し、高精細 CCD カメラを用いて個々の小分画のグレースケール画像 (2048×2048 画素) を取得した (図-1 (a))。また、これらの小分画を接合した解析領域全体のグレースケール像を図-1 (b) に示す。小分画画像取得時にて、試料表面に順光と斜光照射を行い、陰影差から気泡を同定した。高精細画像を取得後、観察面を黒色インクにより着色し、乾燥後に白色粉末 (炭酸カルシウム微粉末、粒径範囲 12~13μm) を気泡に充填させた。その後、市販の汎用スキャナーを用いて、カメラ画像と同じ領域の等倍の断面画像を取得した。このときの解像度は 847dpi とし、1 画素は約 30μm

に相当する。

(2) 気泡間距離特性値の評価

1) リニアトラバース法による気泡間隔係数の評価

ASTM 法の最小トラバース長の規定を満足するように、1 分画内にて 4 本のトラバース線を設定し、121 分画の総トラバース長を約 2746mm として、自動解析法によって気泡数および気泡弦長を自動計測し、気泡間隔係数を求めた。また、トラバース線によらずに、気泡画像から直接気泡面積を画像解析により求め、気泡の比表面積 $\alpha = (6\pi/\bar{a})^{0.5}(\bar{a}$:平均気泡面積) として、同じく気泡間隔係数を求め、これを面積法によって求めた気泡間隔係数とした。

2) 点過程法による気泡間隔特性値の評価

(1)にて取得した 121 分画中の各気泡の重心点座標データ x_i ($i = 1, \dots, j, \dots, n$)を用いて、各分画のそれぞれについて、距離 r を変数とする以下の最近傍距離関数 $G(r)$ を求めた。なお、 $G(r)$ は任意の点 x_i の最近傍点までの距離が r 以下である確率を表す。

$$G(r) = \frac{\sum_{i=1}^n \mathbf{1}(s_i \leq r) \mathbf{1}(s_i \leq c_i) \cdot w(s_i)}{\sum_{i=1}^n \mathbf{1}(s_i \leq c_i) \cdot w(s_i)} \tag{1a}$$

$$w(s_i) = \{(a - 2s_i)(b - 2s_i)\}^{-1} \tag{1b}$$

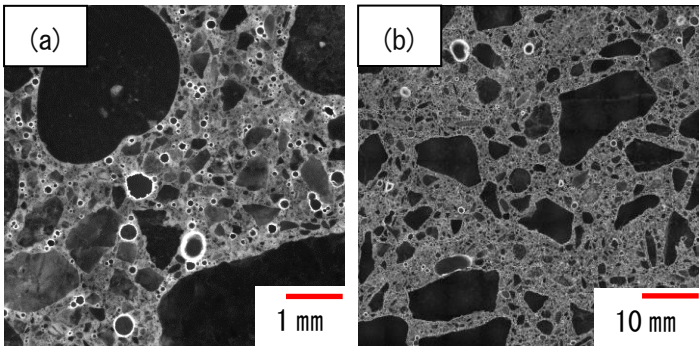


図-1 解析対象領域の CCD 画像 (a) 6×6 mm の小分画 (b) 60×60 mm の領域全体

表-1 コンクリートの配合

水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (c m)	設計空気量 (%)	単位量 (kg/m³)					フレッシュ時
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 剤	測定空気量
								(%wt. /C)	(%)
50	45	10±2	4.5	165	330	797	1003	0.007	5.0

ここに, a, b : 観察視野の辺長, s_i : 最近傍距離, c_i : 各点から視野縁までの最短距離である. また, $w(s_i)$ は, 観察視野外に最近傍点が存在する可能性を考慮するエッジ補正係数である.

累積確率で表される最近傍距離関数の特性値として累積確率の中央値を採用し, 対応する距離をメディアン距離 R_{50} と定義した (図-2). メディアン距離 R_{50} から画像解析によって求めた平均気泡径 D_A の 1/2 を差し引き, これを気泡間隔特性値 L' として定義した.

$$L' = R_{50} - \frac{D_A}{2} \quad (2)$$

3. 結果および考察

(1) リニアトラバース法による気泡間隔係数

リニアトラバース法 (自動解析法および面積法) の結果を表-2 に示す. 配合上の設定空気量は 4.5% であり, フレッシュ時の計測空気量は 5.0% であった. これに対して, リニアトラバース法にて求められた空気量は 3.6%, 面積法で求めた空気量は 3.0% であり, それぞれフレッシュ時に比べて 1.4~2.0% の損失を生じている. ASTM の計算式に基づいてリニアトラバース法及び面積法で求めた気泡間隔係数は, それぞれ 178 μm と 127 μm であり, 面積法では空気量は小さく評価されているのに, 気泡間隔係数も小さくなった. これは, 表-2 の比表面積に示されるように, 面積法では微細な気泡もすべて検出された結果として, 気泡間隔係数が想定する単一寸法球の大きさが小さくなり, 結果として全気泡個数が大きくなったためと考えられる.

(2) 点過程法による気泡間隔特性値

図-3 に最近傍距離関数を示す. スキャナー画像は分解能に劣るため, 微細な気泡が同定されない. そのため最近傍距離関数は高精細画像のそれよりも下方にプロットされ, 最近傍点を短距離範囲に見出す可能性は低い.

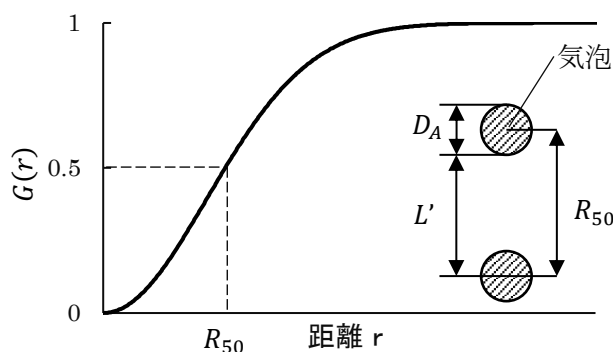


図-2 最近傍距離関数と R_{50} の定義

表-3 にそれらの最近傍距離関数から求めた気泡間隔特性値を示す. 高精細画像に対して求めた, 気泡間隔特性値は 148 μm とリニアトラバース法にて求めた気泡間隔係数とは 1 画素程度の差しかない.

また, スキャナー画像を用いると空気量に関しては大差がないものの, 小径気泡を検出しないため平均径及び気泡間隔特性値は大きく評価されている. しかし, それであっても高々 2 画素程度の差でしかない.

4. 結論

気泡を点で表す点過程法で求めた気泡間隔特性値は気泡間隔係数とほぼ同程度の値を示した. 低倍率画像を用いてもそれらの差は大きくはなく, 点過程法は将来の気泡分布の解釈と矛盾しない特性値を与えると考えられる.

謝辞

本研究を行うにあたり, (株) 八洋コンサルタント, 田中章夫博士よりリニアトラバース法の計測データの提供を受けた. ここに記し, 深甚の謝意を表す.

参考文献

- 1) 室谷, 古東, 五十嵐: 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造) Vol.73, No.1, pp.36~49, 2017

表-2 ASTM 法の計測結果

空気量計算方法	比表面積 α (mm^2/mm^3)	空気量 (%)	気泡間隔 係数(μm)
リニアトラバース法	31.3	3.6	178
面積法	47.3	3.0	127

表-3 点過程法により求めた気泡間隔特性値

使用画像	空気量 (%)	平均径 (μm)	気泡間隔特性 値(μm)
高精細画像	3.0	72.2	148
スキャナー画像	3.2	89.3	228

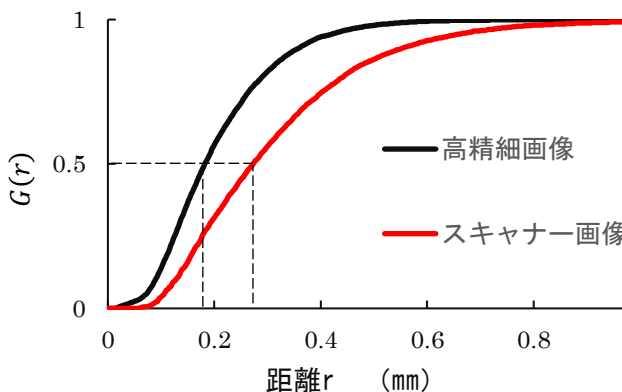


図-3 高精細画像と低倍率画像の最近傍距離関数