1. 序論

コンクリートの劣化要因の一つである凍害に対する 耐性を評価するには、セメントペースト中の気泡の分 布の状態を把握することが重要である.コンクリート の断面から得られる気泡情報に関して、これを気泡間 隔係数や耐久性指数に関連づけることを意図した研究 が数多く行われてきた.しかし、気泡の空間構造それ 自体の特徴を定量的に評価した研究例は少ない.

本研究では簡便性を考慮して,スキャナにより取得 したセメントペーストの低倍率画像中の気泡を点過程 統計量によって定量的に評価することを目的とした.

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³,比表面積 3310cm²/g)を使用し,セメントペ ーストの水セメント比を 0.40 および 0.45 とした.リ グニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体を主成 分とする AE 減水剤の使用量を変化させることによっ て空気量を変化させた.作製したセメントペーストの 名称および AE 減水剤の量を表-1 に示す.JIS R 5201 に準じてセメントペーストを練り混ぜ,エアメーター を用いて空気量を測定した.その後,40×40×160mm の角柱供試体を作製した.打ち込み後 24 時間にて脱 型し,材齢7日まで水中養生(20℃)を行った.

2.2 試料作製および画像取得

養生終了後,各供試体から厚さ10mm程度の板状試料を切り出し,切断面の研磨を行った.研磨終了後, 試料断面を黒色インクで塗り潰し,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, スキャナを用いて等倍率の断

水セメント比	名称	AE減水剤量(C×%)							
0.4	Ref	0.00							
	AE0.05	0.05							
	AE0.10	0.10							
	AE0.25	0.25							
	AE0.50	0.50							
0.45	Ref	0.00							
	AE0.25	0.25							
		0.50							

表-1 各試料の名称および AE 減水剤量

金沢大学大学院 学生会員 ○室谷 卓実 金沢大学 正会員 五十嵐 心一

面画像を 10 枚取得した. このときの解像度は 1200dpi とし,1 画素は 21.2μm に相当する. なお, 試料中央の 30mm×30mm を観察領域とした.

2.3 画像解析による評価

画像解析ソフトウェアを用いて、2.2 にて取得した 画像に対し、グレースケールに基づく 2 値化処理を行 い、気泡の 2 値画像を得た.取得した気泡の 2 値画像 から気泡面積率を算出した.また、気泡の重心点位置 座標を求め、これを位置ベクトル x_i とみなして点過程 $X = \{x_i; i = 1, \dots, n\}$ とした.

(1) 点密度

点密度**î**は単位面積*A*(*W*)あたりの点の個数*N_p*(*W*) を表し,**式**[1]により定義される.

$$\hat{\lambda} = N_p(W)/A(W)$$
[1]

(2) K 関数

K関数を分布している点がランダム分布に比べて, 規則性や凝集性であるかを判定するために用いた.そ の計算式を式[2]に示す.

$$\widehat{K}(r) = \frac{1}{\widehat{\lambda}_{p}^{2}} \sum_{i \neq j} \frac{1(|x_{i} - x_{j}| \le r)}{s(x)}$$
[2]

ここに, 1(・)は()内が真であれば 1, 偽であれば 0を 与える指示関数である.また,エッジ補正係数*s*(*x*)は 式[3]にて与えられ,式中の a,b は観察画像領域の辺 長を表す.

$$s(x) = ab - x(2a + 2b - x)/\pi$$
 [3]
 $x = |x_i - x_j|$

結果および考察

図-1 にスキャナで取得したセメントペースト中の 気泡の画像を示す.これより,セメントペースト中に は様々な径の気泡が存在し,AE 減水剤を使用するこ



図-1 セメントペースト中の気泡の画像(W/C=0.45)

水セメント比	0.40					0.45		
名称	Ref	AE0.05	AE0.10	AE0.25	AE0.50	Ref	AE0.25	AE0.50
点密度 (個/mm²)	0.50	0.85	0.94	2.10	2.50	0.55	1.95	2.07
空気量(%)①	2.4	3.3	3.4	4.9	6.4	3.5	4.9	6.2
気泡面積率(%) 2	1.0	1.9	2.1	3.5	4.4	1.2	3.0	3.7
標準偏差(%)	0.125	0.284	0.115	0.200	0.524	0.138	0.254	0.348
1-2	1.4	1.4	1.3	1.4	2.0	2.3	1.9	2.5

表-2 画像から得られた気泡の情報

とにより気泡が増加したことが目視でも確認できる.

表-2 に画像から得られた気泡の情報を示す. いずれ の水セメント比の場合も、空気量の増加とともに気泡 個数を表す点密度も増加している.また、フレッシュ 時の空気量と硬化時の気泡面積率には差が生じており, この原因として打ち込みから締固めの際に失われた気 泡および分解能以下の微小な気泡の存在などが考えら れる.しかし、20um以下の微細な気泡が気泡体積に占 める割合は大きくないことを考慮すると、この差は打 ち込みから締固めまでの間に失われた気泡による影響 が大きいと考えられる. また, エントレインドエアが 混入された系の気泡の残存率はエントラップドエアの みの場合よりも高くなっている.気泡面積率のばらつ きもそれほど大きくはなく、粒子個数としても十分な 量が存在し、特にエントレインドエアが入るようにな ると変動係数も小さくなる.よって、低倍率で画像を 取得しても気泡に関して十分な情報が得られると考え られる.

図-2に点密度の変化を示す.いずれの水セメント比の場合も、気泡面積率と点密度の関係は直線近似が可能で、非常に強い相関がみられる.これより、セメントペーストにおいては AE 減水剤を用いた場合、小径の粒子が断面に現れにくいとするステレオロジー上の影響も小さいと考えられる.

図-3 に気泡の K 関数を示す.エントラップドエア のみの場合,ほぼランダム分布を示すものや,凝集側 の分布を示すものがある.これは,セメントペースト のフレッシュ特性に対応して,点密度にしても少ない エントラップドエアが比較的失われやすく,打ち込み から締固めの際に不均質に,もしくは選択的に失われ, 結果として必ずしもランダムな空間分布を取り得ない ことを示唆している.一方,エントレインドエアが連 行されるようになると,すべての試料がポアソン分布 と一致しており,気泡全体としては水セメント比に関 係なく完全にランダムに分布していることがわかる. これは,エントレインドエアが比較的失われにくく,



図-3 セメントペーストにおける気泡の K 関数 また失われたとしてもランダムに失われていることを 示している.

4. 結論

セメントペーストにおいては AE 減水剤を用いた場 合, 空気量の増加に比例して気泡の点密度も増加する. また, エントレインドエアはエントラップドエアと比 べて打ち込みから締固めの際の損失が小さく, 比較的 安定した空間分布を維持することができると考えられ る.

謝辞

本研究の実施にあたり日本学術振興会科学研究費 補助金(基盤研究(c),課題番号:21560482)の交付を受け た.こに記して謝意を表す.