

V-222 気泡コンクリートの気泡球分布構造 (半径、中心間隔分布状態と気体量の推定について)

岐阜大学 正 森 本 博 昭

1. 研究目的

最近、多相系複合材料の諸特性、特に構造敏感強度特性における系構成相の組織構造が果す役割について認識が深まりつつある。本研究は多孔材料を二相分散系複合材料とみなし、その構成相の組織構造として気泡球の半径および中心間隔の分布特性に着目し、これらの三次元的な分布特性を解明するための確率統計的手法およびこれら質的要素と量的要素である気体量との関連性について検討を行なったものである。さらに多孔材料の一例として気泡コンクリートを取り上げ、本手法の適用例を示した。そして今後、気泡コンクリートなど多孔材料の諸特性と気体量さらには気泡球分布構造との関連性を知る上で有用な手がかりを得ることを目的としている。

2. 手法の概要) 本研究においては断面にあらわれる気泡と気泡孔、一オ気泡を立体的に取り扱う時にはこれと気泡球と称する。確率統計的手法により気泡球半径分布 $f(r)$ と気泡孔半径分布 $f(s)$ との間には次式が成立する。

$$F(s \leq a) = 1 - 1/\bar{F} \int_a^{\infty} \sqrt{r^2 - a^2} f(r) dr \quad (1) \quad f(r), f(s): r, s \text{ の確率密度函数}$$

$$f(s) = \left[\partial F(s \leq a) / \partial a \right]_{a=s} \quad (2) \quad \bar{F}: \text{平均気泡球半径}$$

式(1)(2)から $f(r)$ を決定するには次のような手順によるのが簡便である。まず最初、気泡球半径分布 $f(r)$ に適切な型を与え式により気泡孔半径分布 $f(s)$ を解析的に算出する。一オ、多孔材料の断面の観測から気泡孔半径分布のヒストグラムを求め、これと解析的に算出した $f(s)$ とを対比し試行錯誤的に $f(r)$ を決定する。なお実際の作業にあたっては、あらかじめ $f(r)$ に二三の適切な型を与え式中のパラメータ k について $f(s)$ に関する一連の定規図を作成しておけば便利である。以上のような $f(r)$ の推定作業の流れ図を述べればfig-1のようになる。さて確率的考察により気泡球間隔分布 $f(l)$ と気泡孔間隔分布 $f(d)$ の間にも半径分布に関する基礎式(1)(2)と全く同型の関係式が成立する⁽²⁾。従って気泡孔間隔分布 $f(d)$ から $f(l)$ を推定するには半径分布の場合と全く同様の手順によればよい。気泡球の表面積、体積の分布 $f(A)$, $f(V)$ は $A = 4\pi r^2$, $V = 4/3\pi r^3$ の変数変換を行なうことにより容易に算出できる。すなわち $f(A) = f(r) |dr/dA|$ (3) $f(V) = f(r) |dr/dV|$ (4)

$f(r)$, $f(A)$, $f(r)$, $f(l)$ が決定すればそれらの平均、分散などは直ちに算出できる。

3. 気泡球分布型の導入) 本手法によれば、まず気泡球半径および間隔分布 $f(r)$, $f(l)$ に適切な型に想定しておく必要があるが、種々の型について検討を行なった結果 $f(r)$, $f(l)$ とも指数減少型あるいは直線減少型を想定するのが適切であると考えられた。今、半径分布を例にとりそれぞれを想定した場合について $f(s)$ の算定を行なう。

1) 直線減少型分布の場合) $f(r) = 2/k^2 (K-r)$ (K : パラメータ, $0 < r < K$, $\bar{F} = K/3$) (5)
とした場合、式(1)を基礎式に代入して $f(s)$ の解析解として次式を得る。

$$f(s) = 6/k^2 \cdot (s \log K + \sqrt{K^2 - s^2} / s - \sqrt{K^2 - s^2} / K) \quad (6)$$

2) 指数減少型分布の場合) $f(r) = \lambda e^{-\lambda r}$ (λ : パラメータ, $\bar{F} = 1/\lambda$) (7)

式(1)を基礎式に代入して次式を得る。

$$f(s) = \left[\lambda^2 e^{-\lambda s} \left\{ \lambda L(g(r)) - L\left(\frac{\partial g(r)}{\partial a}\right) \right\} \right]_{a=s} \quad \left[\text{ここで } r=a=r', g(r) = \sqrt{r^2 + 2ar}, L: \text{ラプラス変換子} \right]$$

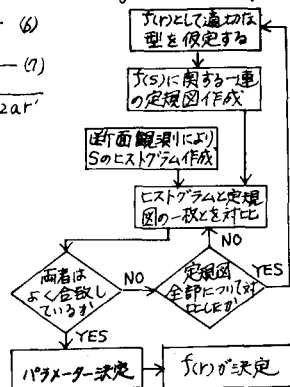
上式に適切な近似計算を施すことにより最終的に次式を得る。

$$f(s) = \left[\lambda^2 e^{-\lambda s} \left\{ C_1 \cdot \Gamma(G+1)/\lambda^2 - C_2 \cdot \Gamma(G+1)/\lambda^{G+1} \right\} \right]_{a=s} \quad (8)$$

ここに $\Gamma(x)$: ガンマ関数, C_1, G, C_2 : 近似計算のための定数

一オ、気泡球間隔分布 $f(l)$ と気泡孔間隔分布 $f(d)$ の間にも式(6)あるいは式(8)と同様の関係が成立する。fig-2, 3に式(6)および(8)より算出した $f(s)$ の概形を示す。次に気体量 P と気泡球分布構造特性を表わすパラメータ (λ, λ')

fig-1 フローチャート



K, K' あるいは $F, \bar{F}$ との間には近似的に式(9)が成立する。

$$P = 0.8K^3 \lambda^3 = 21.6 \left(\frac{F}{\bar{F}} \right)^3 \quad (9)$$

(半径分布: 直線型, 間隔分布: 指数型)

$$P = 1294.3 / \lambda^3 K^3 = 47.9 \left(\frac{F}{\bar{F}} \right)^3 \quad (10)$$

(半径分布: 指数型, 間隔分布: 直線型)

その他, 半径分布, 間隔分布とも指数型あるいは直線型を想定した場合も同様の関係式が導かれるがここでは省略する。式(9)あるいは式(10)は気泡量 P と半径分布特性から間隔分布特性も推定するための算式として有効に使用できるものである。

4. 実験および結果の概要) 本手法を用いて気泡コンクリート中の気泡球分布構造を明らかにするため次のような実験を行なった。気泡コンクリートの配合を Table-1 に示す。気泡コンクリート製造はプレフォーラム法による。気泡コンクリートの切断面における気泡球分布構造をなら気泡球半径分布, および間隔分布は切断面の顕微鏡拡大写真を用いて測定した。fig-4, 5 に A-27 の断面観測結果と半径分布と直線型, 間隔分布を指数型として式(6)あるいは式(8)から得られるこれらに関する解析解 $f(s)$ と $f(d)$ とがよく合致した時の状態を示す。Table-2, 3 にこのようにして求めた気泡球半径分布と間隔分布の解析結果を, また Table-4 に気泡量と気泡球半径分布から式(9)あるいは式(10)を用いて気泡球間隔分布特性を推定した結果を示す。

5. 結論の要約) 本研究で得られた主な結論を要約すれば次のようになる。(1) 切断面観測から得られる気泡球の分布構造から気泡球の三次元的分布構造を推定することが可能である。この三次元的な分布形態は二次元的なものに比べかなり様相を異にすることが明らかとなった。(2) 本手法によれば $f(r), f(d)$ を適切な型に想定する必要があるが双方いずれにおいても二次元的分布が凸形であるが, 仮に長い場合は三次元的分布を指数型 K , 一方それが比較的短い場合は直線型を想定するのがよい。(3) 気泡量と気泡球半径分布から気泡球間隔分布特性を推定することができる。

本研究は著者に与えられた昭和51年度産田研究奨励金により実施している研究の一環であることを付記して深く感謝の意を表します。

文献 (1) 大沢, 森本, 第31回年次大会

概要集, (2) 大沢, 森本, 中野支部研究発表会概要集 S52.1

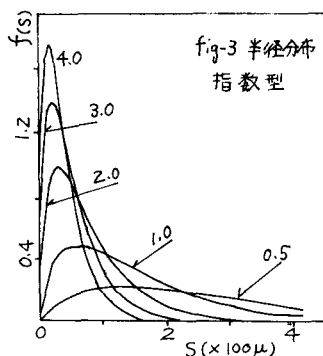
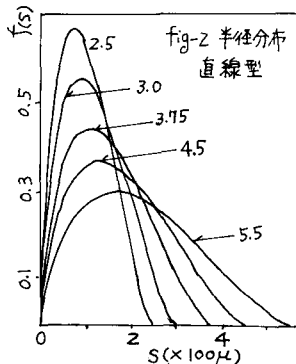


Table-1 配合

記号	気量	W(%)	S(%)	C(%)	W(%)	S(%)	AE(%)
A-7	7%	47	51	833	391	428	2.2
A-16	16	47	51	753	353	386	2.8
A-27	27	47	51	654	307	336	4.2
A-37	37	47	51	564	265	290	5.3

(注) W: 骨材量, S: 絶乾重量, AE: 起発剤

Table-2 気泡球半径分布特性

記号	分布型	パラメーター 記号 値	平均気泡球 半径 $\bar{r}$	平均気泡球 半径 S
A-7	直線	K 3.10	103 μ	106 μ
A-16	直線	K 3.10	103	120
A-27	直線	K 3.80	126	155
A-37	指数	λ 0.75	133	217

Table-3 気泡球間隔分布特性

記号	分布型	パラメーター 記号 値	平均気泡球 間隔 $\bar{d}$	平均気泡球 間隔 $\bar{d}$
A-7	指数	λ' 0.11	909 μ	1393 μ
A-16	指数	λ' 0.20	500	864
A-27	指数	λ' 0.20	500	916
A-37	直線	K' 16.0	533	774

Table-4 気泡球間隔分布特性の推定

記号	分布型	パラメーター 記号 解析値 推定値	平均気泡球 間隔 $\bar{d}$ 解析値 推定値
A-7	指数	λ 0.11 0.14	909 μ 714 μ
A-16	指数	λ 0.20 0.19	500 526
A-27	指数	λ 0.20 0.18	500 555
A-37	直線	K' 16.0 20.2	533 673

