

2次元短繊維強化複合材を表面から観察したときの 繊維重なり部分の幅に関する確率論的研究

鈴木 寛*

Probabilistic Study of Overlapping Width of Fibers in a 2 Dimensional Short Fiber Reinforced Composite Observed from the Surface

Hiroshi SUZUKI*

Abstract

The width of the overlap portion of fibers observed from the composite surface was analytically derived. In the composite, the fibers were randomly distributed in a plane parallel to its surface. In this analysis, the overlap portion of one fiber was approximated with the square of constant width. It was clarified that n -2nd formula of the overlap portion width is added to number density function of the overlap portion, whenever the overlap portion width exceeds the integral multiple n of the square width.

Key words: Composite Material, Probabilistic Method, Short Fiber, Image analysis

1. 緒 言

短繊維強化複合材の剛性や強度といった力学的特性はその内部構造，すなわち繊維の方向分布や長さ分布に大きく依存する¹⁾。繊維の横断面が円と見なせる場合には，切断した複合材表面を良く研磨し，表面に観察される繊維断面のアスペクト比より，方向分布を求める²⁾。繊維が結晶性を有する場合には複合材表面の繊維にX線を照射したときの回折を利用して繊維方向分布を測定する場合が多い³⁾。繊維長さ分布は複合材より繊維を抽出して測定される場合がほとんどであるが⁴⁾，複合材表面にエッチングをほどこし，繊維長さを測定した例も見受けられる⁵⁾。

複合材の内部構造を知ろうとする場合，以上のように表面からの情報を用いるか，繊維を抽

出する方法を用いるのがほとんどであったが，近年，複合材表面下の繊維像をそのまま捕らえることも可能となった。たとえば，超音波顕微鏡を用いた例⁶⁾や，共焦点レーザ走査形顕微鏡を用いた例⁷⁾が報告されている。図1は著者がガラス短繊維強化複合材を表面から超音波顕微鏡で観察した写真である。図中の繊維1のように，複合材中の繊維には他の繊維が重なって，部分的にしか観察可能でない。本研究では，他の繊維が重なった部分を重なり部分と呼ぶことにする。図からもわかるように，複合材表面下の様相は，表面観察によって得られる像に比べはるかに複雑で，このような像の利用はこれまでほとんどなされていない。

表面下の観察より得られる像の利用を目指して，著者は2次元短繊維強化複合材や3次元短繊維強化複合材の表面下に観察される繊維のいわゆる‘可視部分’の長さ分布を求める法を提案し^{8),9)}，超音波顕微鏡で得られた2次元短繊維強

平成15年12月19日受理

* 機械情報技術学科・教授

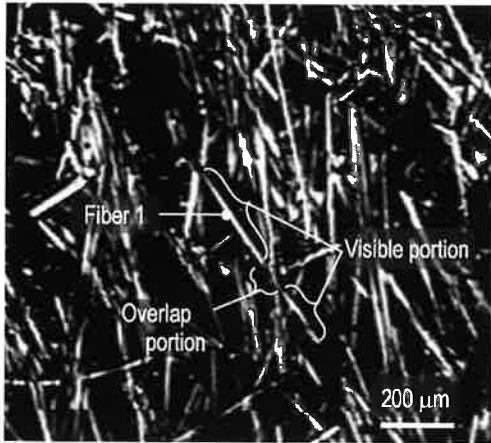


Fig. 1 The scanning acoustic micrograph observed from the composite surface

化複合材の表面下の繊維像より繊維長さの測定を行っている¹⁰⁾。さらに、3次元的な繊維配置を持った短繊維強化複合材の表面下に観察される繊維の先端の数が繊維長さによって変化することに着目し、短繊維強化複合材中の繊維長さを測定する方法を提案している¹¹⁾。

本研究では、繊維の重なりを任意の位置をとる四角形で単純化し、このモデルを使って、重なり部分の長さ分布を解析的に誘導した。

2. 繊維の重なり of 単純化

複合材表面に対して平行な面内にランダムに繊維が配向された短繊維強化複合材を考える。すべての繊維の長さを l_{max} 、直径を d とする。複合材を構成する母材は透光性を有し、複合材表面より繊維が観察可能であるとする。図2のように複合材を表面から観察して、注目する繊維に他の何本かの繊維が重なっている場合を考える。繊維の重なりを図2のように単純化する。繊維が2次元的にランダムに配向されたとき、繊維が重なった部分の平均の幅 w は $\pi d/2$ となる⁸⁾。本研究では、重なり部分を幅一定(= w) の四角形で置き換える。繊維の先端に原点を持ち、繊維の長さ方向を軸の方向とする x 軸を取

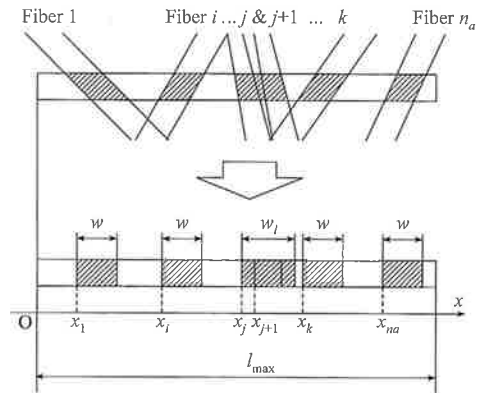


Fig. 2 Simplification of overlapping on the fiber

る。四角形の位置をその左側の辺の x 座標で表すことにする。四角形は繊維の端 $x = -w$ から端 $x = l_{max}$ まで、すなわち長さ $l_{max} + w$ の範囲内で任意の位置をとるものとする。重なり部分について見てみると、一つの四角形のみが重なっている部分もあれば、複数の四角形が重なって、幅 w_i の長方形を形成している部分もある。長さ $l_{max} + w$ の範囲には、全部で n_a 個の四角形が存在するとする。個数 n_a はこの範囲の上の任意の位置が観察可能であるか否かの確率から、次式のように与えられる。

$$n_a = \frac{8v_f l_{max} z}{\pi^2 d^2} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 v_f は繊維体積含有率、 z は複合材表面からの深さである。

3. 重なり部分の幅

3.1 四角形が重ならない確率

最初に、 k 個の四角形からなる幅 w_i の長方形に他の $n_a - k$ 個の四角形(幅 w) が重ならない確率 P_u を求めてみよう。幅 w_i の長方形の位置が x のとき、幅 w の四角形が $x - w \sim x + w_i$ の範囲、すなわち長さ $w_i + w$ の範囲になれば、四角形は長方形に重ならない。存在する範囲の長さの比較より、 k 個の四角形からなる幅 w_i の

長方形に他の $n_a - k$ 個の四角形が重ならない確率 P_u は

$$P_u = \left(\frac{l_{\max} - w_l}{l_{\max} + w} \right)^{n_a - k} \dots\dots\dots (2)$$

となる。

3.2 四角形が単独で存在する個数

四角形に他の四角形が重ならず単独で存在する個数を考えよう。一つの四角形に注目すると、この四角形が $x \sim x + dx$ の範囲に存在する確率 $f_1(x) dx$ は

$$f_1(x) dx = \frac{1}{l_{\max} + w} dx \dots\dots\dots (3)$$

である。この四角形に他の四角形が重ならない確率は、式 (2) の k に $k=1$ を、 w_l に $w_l=w$ を代入して求められる。四角形は全部で n_a 個ある。以上の確率と個数の積より、四角形が $x \sim x + dx$ の範囲に単独で存在する個数 $g_{c1}(x) dx$ が求まる。すなわち

$$g_{c1}(x) dx = \frac{n_a}{l_{\max} + w} \left(\frac{l_{\max} - w}{l_{\max} + w} \right)^{n_a - 1} dx \quad (4)$$

四角形が単独で存在する個数分布 $g_{c1}(x)$ は四角形の個数、存在範囲および四角形の幅の関数となることがわかる。

3.3 複数の四角形からなる長方形の個数分布

k 個の四角形でできる長方形の幅が $(n-1)w \sim nw$ の範囲あるとする ($n=2, 3, \dots, k_a$)。このとき、長方形の左端が $x \sim x + dx$ の範囲にあり、幅が $w_l \sim w_l + dw_l$ の範囲にある確率を $f_{nk}(w_l) dx dw_l$ と表すとする。 $f_{nk}(w_l) dx dw_l$ にはこの長方形に他の四角形が重なるか否かは考慮されていない。

(a) $n=2$ のとき 長方形の幅が $w \sim 2w$ の範囲にある場合について考える。長方形を構成する四角形の個数 k が $k=2$ とき、長方形の左端が $x \sim x + dx$ の範囲にある確率は式 (3) で、幅が $w_l \sim w_l + dw_l$ 範囲にある確率は右側の四角

形の存在確率より

$$\frac{1}{l_{\max} + w} dw_l \dots\dots\dots (5)$$

で与えられる。確率 $f_{22}(w_l) dx dw_l$ は、式 (3) と式 (5) の積より

$$f_{22}(w_l) dx dw_l = \frac{1}{(l_{\max} + w)^2} dx dw_l \dots\dots\dots (6)$$

となる。

二つの四角形でできる長方形の右側にもう一つ四角形が重なってできる長方形の幅が $2w$ 以下であるとする。このとき左側の二つの四角形でできる長方形の幅は w'_l は $w < w'_l \leq w_l$ の範囲にある。左側の二つの四角形でできる長方形の幅 w'_l が $w \sim w_l$ の範囲にある確率は、式 (6) の w_l を w'_l と書き替え、 w'_l に関して $w \sim w_l$ の範囲でこの式を積分して求めることができる。求まった確率と式 (5) の積より、四角形の個数 k が $k=3$ のときの確率 $f_{23}(w_l) dx dw_l$ は

$$f_{23}(w_l) dx dw_l = \frac{(w_l - w)}{(l_{\max} + w)^3} dx dw_l \dots\dots (7)$$

と求められる。

長方形が k 個の四角形からなるとき、確率 $f_{2k}(w_l) dx dw_l$ は、同様にして以下のように求められる。

$$f_{2k}(w_l) dx dw_l = \frac{(w_l - w)^{k-2}}{(k-2)!(l_{\max} + w)^k} dx dw_l \quad (8)$$

n_a 個の中から k 個とって順に並べる並べ方は $n_a! / (n_a - k)!$ 通りある。また、この長方形に他の四角形が重ならない確率は式 (2) より求めることができる。以上と式 (8) の積を $k=2$ から $k=n_a$ まで合計すれば、左端が $x \sim x + dx$ の範囲にあり、幅が $w_l \sim w_l + dw_l$ の範囲にあり、他の四角形がその端と重ならない長方形の個数 $g_{c2}(x, w_l) dx dw_l$ が求まる。すなわち

$$g_{c2}(x, w_l) dx dw_l = n_a! \sum_{k=2}^{n_a} \frac{1}{(n_a - k)!(k-2)!} \times \frac{(w_l - w)^{k-2} (l_{\max} - w_l)^{n_a - k}}{(l_{\max} + w)^{n_a}} dx dw_l \dots\dots\dots (9)$$

式 (9) は、2 項定理を用いて変形すれば

$$g_{c2}(x, w_l) dx dw_l = \frac{n_a(n_a-1)(l_{\max}-w)^{n_a-2}}{(l_{\max}+w)^{n_a}} dx dw_l \dots\dots\dots (10)$$

となる。

式 (10) より、長方形の幅 w_l が $w < w_l \leq 2w$ の範囲にあるとき、その個数分布 $g_{c2}(x, w_l)$ は長方形の幅 w_l によらないことがわかる。

(b) $n=3$ のとき 長方形の幅が $2w \sim 3w$ の範囲にある場合について考える。左端が $x \sim x+dx$ の範囲にあり、幅が $w_l \sim w_l+dw_l$ の範囲にある長方形が k 個 ($3 \leq k \leq n_a$) の四角形で構成されているものとする。この長方形では、左から l 番目 ($2 \leq l \leq k-1$) の四角形まででできる長方形の幅が w'_l が $w_l-w < w'_l \leq 2w$ の範囲にあり、左から $l+1$ 番目の四角形まででできる長方形の幅が w''_l が $2w \leq w''_l \leq w_l$ の範囲にあるものとする。

左から l 番目の四角形まででできる長方形の幅が w'_l が $w_l-w \sim 2w$ の範囲にある確率 $p_{3l} dx$ は、式 (8) の w_l を w'_l に、 k を l に書き替えて、 w'_l に関して $w_l-w \sim 2w$ の範囲でこの式を積分して

$$p_{3l} dx = \frac{-(w_l-2w)^{l-1} + w^{l-1}}{(l-1)!(l_{\max}+w)^l} dx \dots (11)$$

と求めることができる。

左から l 番目の四角形まででできる長方形の幅 w'_l が $w_l-w < w'_l \leq 2w$ の範囲にあり、 $l+1$ 番目の四角形まででできる長方形の幅 w''_l が $2w \leq w''_l \leq w_l$ の範囲にあるとき、 k 個の四角形でできる長方形の幅が $w_l \sim w_l+dw_l$ の範囲にある確率 $q_{3kl} dx dw_l$ は、式 (11) に式 (5) を掛け、 w_l を w'_l に書き替えて、 w'_l に関して $2w \sim w_l$ の範囲で積分し、求めた式に同様のことを繰り返すという操作を $k-l-1$ 回行い、最後にまた式 (5) を掛けることにより求まる。

$$q_{3kl} dx dw_l = \frac{1}{(l_{\max}+w)^k} \left\{ -\frac{(w_l-2w)^{k-2}}{(k-2)!} + \frac{w^{l-1}(w_l-2w)^{k-l-1}}{(k-l-1)!(l-1)!} \right\} dx dw_l \dots\dots (12)$$

式 (12) を $l=2$ から $l=k-1$ まで合計すれば、 k 個の四角形でできる長方形の幅が $2w \sim 3w$ の間で $w_l \sim w_l+dw_l$ の範囲にあり、左端が $x \sim x+dx$ の範囲にある確率 $f_{3k}(w_l) dx dw_l$ が求まる。式 (12) は $l=1$ で 0 となることを考慮して

$$f_{3k}(w_l) dx dw_l = \sum_{l=2}^{k-1} q_{3kl} dx dw_l = \frac{1}{(l_{\max}+w)^k (k-2)!} \times \left\{ -(k-1)(w_l-2w)^{k-2} + (w_l-w)^{k-2} \right\} dx dw_l \dots\dots (13)$$

n_a 個の中から k 個とって順に並べる並べ方は $n_a!/(n_a-k)!$ 通りある。また、この長方形に他の四角形が重ならない確率は式 (2) より求めることができる。以上と式 (13) の積を、 $k=3$ から $k=n_a$ まで合計すれば、左端が $x \sim x+dx$ の範囲にあり、幅が $w_l \sim w_l+dw_l$ の範囲にあり、他の四角形がこれの端と重ならない長方形の個数 $g_{c3}(x, w_l) dx dw_l$ が求まる。 $k=2$ のとき式 (13) は 0 となることを考慮して

$$g_{c3}(x, w_l) dx dw_l = \sum_{k=2}^{n_a} f_{3k}(w_l) dx dw_l = \frac{n_a(n_a-1)}{(l_{\max}+w)^{n_a}} \left\{ -(n_a-2) \times (w_l-2w)(l_{\max}-2w)^{n_a-3} - (l_{\max}-2w)^{n_a-2} + (l_{\max}-w)^{n_a-2} \right\} dx dw_l \dots\dots (14)$$

式 (14) より、長方形の幅 w_l が $2w < w_l \leq 3w$ の範囲にあるとき、その個数分布 $g_{c3}(x, w_l)$ は長方形の幅 w_l の 1 次式となることがわかる。

(c) n のとき 長方形の幅が $(n-1)w \sim nw$ の範囲にある場合について考える。左端が $x \sim x+dx$ の範囲にあり、幅が $w_l \sim w_l+dw_l$ の範囲にある長方形が k 個 ($n \leq k \leq n_a$) の四角形で構成されている。長方形の左端が $x \sim x+dx$ の範囲にあり、幅が $w_l \sim w_l+dw_l$ の範囲にある確率 $f_{nk}(w_l) dx dw_l$ が次式で表されるものとする。

$$f_{nk}(w_l) dx dw_l = \frac{1}{(l_{\max} + w)^k} \sum_{i=1}^{n-1} \left[(-1)^{l-1} \frac{k-1}{(k-l)!} \times \frac{(w_l - lw)^{k-2}}{(l-1)!} \right] dx dw_l \quad \dots\dots(15)$$

式 (15) は $n=2$ のとき式 (8) に、 $n=3$ のとき式 (13) になる。したがって、式 (15) の n に $n-1$ を代入した式から出発して、式 (15) が得られれば、 $f_{nk}(w_l) dx dw_l$ が式 (15) で表されることが証明される。

この長方形では、左から l' 番目 ($n-1 \leq l' \leq k-1$) の四角形まででできる長方形の幅が $w_l \sim w_l + (n-1)w$ の範囲にあるものとする。さらに、 $l'+1$ 番目の四角形まででできる長方形の幅が $(n-1)w \sim w_l$ の範囲にあるものとする。左から l' 番目の四角形まででできる長方形の幅が $w'_l \sim w'_l + dw'_l$ の範囲にある確率は、式 (15) の n を $n-1$ に、 k を l' に書き替えて

$$f_{n-1l'}(w'_l) dx dw'_l = \frac{1}{(l_{\max} + w)^{l'}} \sum_{i=1}^{n-2} \left[(-1)^{l'-1} \times \frac{(l'-1)(w'_l - lw)^{l'-2}}{(l'-l)! (l-1)!} \right] dx dw'_l \quad \dots\dots(16)$$

左から l' 番目の四角形まででできる長方形の幅 w'_l が $w_l - w < w'_l \leq (n-1)w$ の範囲にある確率 $p_{nl'} dx$ は、式 (16) を w'_l に関して $w_l - w \sim (n-1)w$ の範囲で積分して

$$p_{nl'} dx = \frac{1}{(l_{\max} + w)^{l'}} \sum_{i=1}^{n-2} \left[(-1)^{l'-1} \times \frac{-\{w_l - (l+1)w\}^{l'-1} + \{(n-l-1)w\}^{l'-1}}{(l'-l)! (l-1)!} \right] dx \quad \dots\dots(17)$$

と求めることができる。

左から l' 番目の四角形まででできる長方形の幅 w'_l が $w_l - w < w'_l \leq (n-1)w$ の範囲にあり、 $l'+1$ 番目の四角形まででできる長方形の幅 w''_l が $(n-1)w \leq w''_l \leq w_l$ の範囲にあるとき、 k 個の四角形でできる長方形の幅が $w_l \sim w_l + dw_l$ の範囲にある確率 $q_{nkl'} dx dw_l$ は、式 (17) に式 (5) を掛け w_l を w'_l に書き替えて、 w'_l に関して $(n-1)w \sim w_l$ の範囲で積分し、求まった式に同様のことを繰り返すという操作を $k-l'-1$ 回繰り返し、最後にまた式 (5) を掛けることにより求まる。

$$q_{nkl'} dx dw_l = \frac{1}{(l_{\max} + w)^k} \sum_{i=1}^{n-2} \frac{(-1)^{l-1}}{(l'-l)! (l-1)!} \times \left[-\frac{(l'-1)! \{w_l - (l+1)w\}^{k-2}}{(k-2)!} + \frac{\{(n-l-1)w\}^{l'-1} - \{(n-l-2)w\}^{l'-1}}{(k-l'-1)!} \times \{w_l - (n-1)w\}^{k-l'-1} + \sum_{i=0}^{k-l'-1} \frac{(l'-1)!}{(l'+i+1)! (k-l'-i-1)!} \times \{(n-l-2)w\}^{l'+i-1} \times \{w_l - (n-1)w\}^{k-l-i-1} \right] dx dw_l \quad \dots\dots(18)$$

式 (18) で $k-l'-1=j$ とおけば

$$q_{nkl'} dx dw_l = q'_{nkl'} dx dw_l = \frac{1}{(l_{\max} + w)^k} \sum_{i=1}^{n-2} \frac{(-1)^{l-1}}{(k-j-l-1)! (l-1)!} \times \left[-\frac{(k-j-2)! \{w_l - (l+1)w\}^{k-2}}{(k-2)!} + \frac{\{(n-l-1)w\}^{k-j-2} - \{(n-l-2)w\}^{k-j-2}}{j!} \times \{w_l - (n-1)w\}^j + \sum_{i=0}^j \frac{(k-j-2)!}{(k+i+j-2)! (j-i)!} \times \{(n-l-2)w\}^{k+i-j-2} \times \{w_l - (n-1)w\}^{j-i} \right] dx dw_l \quad \dots\dots(19)$$

式 (19) を $j=0$ から $j=k-l-1$ まで合計すれば、 k 個の四角形のできる長方形の幅が $(n-1)w \sim nw$ の間で $w_l \sim w_l + dw_l$ の範囲にあり、左端が $x \sim x + dx$ の範囲にある確率 $f_{nk}(w_l) dx dw_l$ が求まる。すなわち

$$\begin{aligned}
 f_{nk}(w_l) dx dw_l &= \sum_{j=0}^{k-l-1} q'_{nkj} dx dw_l \\
 &= \frac{1}{(l_{\max} + w)^k} \sum_{l=1}^{n-2} (-1)^{l-1} \\
 &\quad \times \left[\frac{\{(n-l-1)w\}^{l-1} (w_l - lw)^{k-l-1}}{(k-l-1)!(l-1)!} \right. \\
 &\quad + \frac{\{(n-l-2)w\}^l \{(w_l - (l+1)w)\}^{k-l-2}}{(k-l-2)!!} \\
 &\quad \left. - \frac{(k-1)\{w_l - (l+1)w\}^{k-2}}{(k-l-1)!!} \right] dx dw_l \dots\dots (20)
 \end{aligned}$$

式 (20) の大カッコの中の第1項の l に $l+1$ を代入すれば、第2項と同一になるので、第1項および第2項の合計は

$$\frac{1}{(l_{\max} + w)^k} \frac{(w_l - w)^{k-2}}{(k-2)!} dx dw_l \dots\dots (21)$$

となる。第3項の合計は

$$\begin{aligned}
 &\frac{1}{(l_{\max} + w)^k} \sum_{l=1}^{n-2} (-1)^{l-1} \\
 &\times \left[-\frac{\{k-1\}\{w_l - (l+1)w\}^{k-2}}{(k-l-1)!!} \right] dx dw_l \\
 &= \frac{1}{(l_{\max} + w)^k} \sum_{l=2}^{n-1} (-1)^{l-1} \\
 &\frac{(k-1)(w_l - lw)^{k-2}}{(k-l)!(l-1)!} dx dw_l \dots\dots\dots (22)
 \end{aligned}$$

式 (21) と式 (22) を加え合わせると

$$\begin{aligned}
 f_{nk}(w_l) dx dw_l &= \frac{1}{(l_{\max} + w)^k} \sum_{l=1}^{n-1} \left[(-1)^{l-1} \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{k-1}{(k-l)!} \frac{(w_l - lw)^{k-2}}{(l-1)!} \right] dx dw_l
 \end{aligned}$$

となり、これは式 (15) となる。式 (15) の n に $n-1$ を代入した式から出発して、式 (15) が得られ、 $f_{nk}(w_l) dx dw_l$ が式 (15) で表されることが証明された。

n_a 個の中から k 個とって順に並べる並べ方は $n_a! / (n_a - k)!$ 通りある。また、この長方形に

他の四角形が重ならない確率は式 (2) より求めることができる。以上と式 (15) の積を、 $k=n$ から $k=n_a$ まで合計すれば、左端が $x \sim x + dx$ の範囲にあり、幅が $w_l \sim w_l + dw_l$ の範囲にあり、他の四角形がこれの端と重ならない長方形の個数 $g_{cn}(x, w_l) dx dw_l$ が求まる。

$$\begin{aligned}
 g_{cn}(x, w_l) dx dw_l &= \frac{n_a!}{(l_{\max} + 1)^{n_a}} \sum_{k=n}^{n_a} \sum_{l=1}^{n-1} \left[(-1)^{l-1} \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{(k-1)(w_l - lw)^{k-2} (l_{\max} - w_l)^{n_a - k}}{(l-1)!(n_a - k)!(k-l)!} \right] dx dw_l \dots\dots (23)
 \end{aligned}$$

式 (23) で k と l の順番を入れ替える。ここで

$$\sum_{k=l}^{n-1} \frac{(k-1)(w_l - lw)^{k-2} (l_{\max} - w_l)^{n_a - k}}{(n_a - k)!(k-l)!} = 0$$

となることを考慮して

$$\begin{aligned}
 g_{cn}(x, w_l) dx dw_l &= \frac{n_a!}{(l_{\max} + 1)^{n_a}} \sum_{l=1}^{n-1} \frac{(-1)^{l-1}}{(l-1)!} \sum_{k=l}^{n_a} [(k-1) \\
 &\quad \times \frac{(w_l - lw)^{k-2} (l_{\max} - w_l)^{n_a - k}}{(n_a - k)!(k-l)!}] dx dw_l \\
 &= \frac{n_a!}{(l_{\max} + w)^{n_a}} \sum_{l=1}^{n-1} \left[\frac{(-1)^{l-1}}{(l-1)!(n_a - l)!} \right. \\
 &\quad \times (w_l - lw)^{l-2} (l_{\max} - w_l)^{n_a - l - 1} \\
 &\quad \left. \times \{(n_a - l)w_l + (l-1)(l_{\max} - (n_a - 1)w)\} \right] dx dw_l \dots\dots (24)
 \end{aligned}$$

長方形の幅が $(n-1)w \sim nw$ の範囲にある場合、左端が $x \sim x + dx$ の範囲にあり、幅が $w_l \sim w_l + dw_l$ の範囲にあり、他の四角形がこれの端と重ならない長方形の個数分布 $g_{cn}(x, w_l)$ が式 (24) のように得られた。この式より、長方形の幅 w_l が $(n-1)w < w_l \leq nw$ の範囲にあるとき、長方形の個数分布 $g_{cn}(x, w_l)$ は w_l の $n-2$ 次式で与えられることがわかる。

4. 結 言

本研究では、表面から内部の繊維が観察可能で、繊維が表面に平行な面内でランダムに配向された短繊維強化複合材を表面から観察したときの繊維の重なり部分の幅を解析的な手法によ

り誘導した。得られた主な知見は以下のとおりである。

- (1) 繊維の重なり部分を幅一定の四角形で近似した。
- (2) 繊維が単独で重なることを近似した四角形が単独に存在する場合の個数分布は四角形の個数、存在範囲および四角形の幅の関数となることがわかった。
- (3) 重なり部分を近似した長方形の幅が四角形の幅の整数倍 n を超えるたびに、長方形の個数分布は四角形の幅の $n-2$ 次式が加わる形で表されることがわかった。

本研究の一部は平成 13, 14, 15 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (C) 13650098 (研究代表者 鈴木 寛) によるものであることを付記し謝意を表す。

参考文献

- 1) Robinson, I.M. and Robinson, J.M., J. Mater. Sci., 29-18 (1994), 4663-4677.
- 2) Hille, D., ほか 2 名, Comp. Sci. Tech., 35-2 (1989), 195-206.
- 3) Menendez, H. and White, J.L., Polym. Engng. Sci., 24-13 (1984), 1051-1055.
- 4) Ulrych, F., ほか 3 名, Polym. Comp., 14-3 (1993), 229-237.
- 5) Akbulut, H., ほか 2 名, Mater. Sci. Tech., 14-4 (1998), 299-305.
- 6) Lisy, F., ほか 4 名, J. Appl. Poly. Sci., 52-2 (1994), 329-352.
- 7) Clarke, A.R., ほか 2 名, Comp. Sci. Tech., 55-1 (1995), 75-91.
- 8) 鈴木寛, 日本複合材料学会誌, 25-2 (1999), 55-62.
- 9) 鈴木寛, 機論(A), 69-680 (2003), 719-726.
- 10) 鈴木寛, 材料, 49-2 (2000), 149-156.
- 11) 鈴木寛, 機論(A), 66-648 (2000), 1468-1476.