(昭和 57 年 6 月 22 日受理)

高・低水分含有状態を想定したときの 水分による布の密着性のモデル的検討

長崎大学教育学部 鈴木 淳

STUDY ON THE MODEL OF THE CLINGY PROPERTIES OF FABRICS IN THE PRESENCE OF A LARGE OR SMALL QUANTITY OF WATER

By Atsushi Suzuki

(Faculty of Education, Nagasaki University, Bunkyo, Nagasaki 852, Japan)

There is a close relation between damp or oppressive sense and the clingy forces of wet fabrics. In the previous paper the clingy forces were calculated for a geometrical model, given on the assumption in the range of a moderate amount of water content.

In this paper, the clingy forces or wettedness were calculated for two geometrical models, given on the assumption in the presence of a large or small quantity of water and the following results were obtained:

(1) Three models derived, including one in the previous paper, has common characteristics in the influences of the various parameters on the clingy forces and wettedness of wet fabrics.

(2) It was suggested that attractive forces appeared sensitively in the range of low water content and there was a close relation between the hygroscopicity of fibers and the attractive forces.

It was assumed that the hygroscopic fibers reduced the attractive forces in the range of low water content, whereas the relation became reversed in the range of high water content.

(3) The larger the contact angle of water on the contacting surface and the smaller that of water on the fibers, the smaller the wettedness. The smaller the contact angles of water on both the contacting surface and the fibers, the larger the attractive forces. That is to say, it was suggested that in the range of high water content, which the limit of the wiping off ability by the fabrics was observed, the more wettable the fabrics, the larger the attractive forces.

(Received June 22, 1982)

1. 緒 言

布の湿感など不快な接触感は、一つは布の吸湿性やぬれ易さに左右され、それに基づく水分による布の密着性¹⁾が接触感の直接的要因として重要な問題となる。先に筆者らはこれに関連して自然接触を想定した低荷重時における、水分率が異なるときの布のすべり抵抗を測定し、水分による布の密着効果を実験的に検討²⁾し、更にその基礎となる性質を把握するため、付着理論の立場からその作用機構の一端をモデル的に検討³⁾した。モデル的検討では布の接触を糸の交錯点における球面接触として理想化し、そこに付着した水分による密着力の特徴を検討したもので、その内容は発汗による水分量の大きさがある範囲(中間的)に限定して考えたものである。

本報告ではこれに引き続いて水分量が更に高い領域にある場合と逆に更に低い領域にある場合とを想定し、その場合の布の接触状態を前者では円柱状格子モデルで、後者では円柱モデルとして理想化し、水分による布の密着力効果について、付着理論の立場から試算し検討したので報告する。

2. 接触モデルと密着力

2.1 高水分領域の場合

前報³⁾では布の接触を糸の交錯点における球面接触としてとらえたが、水分量が多くなると水分による糸軸に沿う作用力も問題となってくる。そこで高水分領域の場合として布の接触状態を糸軸に沿う作用力も考慮できる円柱状格子モデル²⁾で理想化し、それに働く密着力の関

係式を求めた。この場合実状態の糸の交錯構造をモデル化することは付着理論の立場からすると困難であるので、接触状態をもっとも基本的組織である平織の場合として、糸の交錯効果を無視した円柱状格子モデルで理想化したものである。なお交錯効果を無視したもう一つの理由は付着理論の立場からすると糸の交錯効果が密着力の性状に関して2義的なものと判断したためである。図1はそのモデルを図式化したもので、密着力の作用を糸の単位でとらえ²⁾表1に示す各種要因効果が密着力に及ぼす影響について検討した。

Fig. 1 Cylindrical lattice model.

$$d_{t1} = (1 - 2r_t n_{t1}) / n_{t1}$$

$$d_{t2} = (1 - 2r_t n_{t2}) / n_{t2}$$

Table 1 The given factors of the models.

Factors	The surface tension of water
	The radius of the yarn
	The contact angle of water on the yarn or fiber
	" " " " contacting surface
	The densities of the fabric
	The parameters which represent water-level
	Water content
	Wettedness

2.1.1 密着力の関係式

A. 被接触面に水切れが存在しない段階

図2は図1の断面図でそれに作用する密着力 F_t (g/cm^2)は負圧による作用力 F_{t1} (g/cm^2)と界面張力による作用力 F_{t2} (g/cm^2)との和で示される¹⁾。すなわち、

$$F_t = F_{t1} + F_{t2}$$

$$F_{t1} = S_t (T/a) \{1/R_{t1} + 1/R_{t2}\} n_{t1} \cdot n_{t2}$$

$$F_{t2} = l_t (T/a) \cdot S \cdot N \cdot (\theta_t + \alpha_t) n_{t1} \cdot n_{t2}$$

(1)

である。ここで、 T ：水の表面張力(dyne/cm)， a ：重力の加速度(cm^2/sec)， R_{t1} ， R_{t2} ：水膜の曲率半径(cm)， n_{t1} ， n_{t2} ：格子密度(本/cm)， θ_t ：水の格子面に対する接触角($^\circ$)， α_t ：水位角($^\circ$)， S_t ：一つの

Fig. 2 Cross-section of a cylindrical lattice in contact with water on a flat plate.

格子に働く負圧面積(cm^2)， l_t ：一つの格子に働く界面張力の作用長(cm)である。ところで R_{t1} ， R_{t2} ， S_t および l_t は次のように展開される。すなわち、

$$R_{t1} = (1 - 2r_t n_{t1} \sin \alpha_t) / 2n_{t1} \sin (\theta_t + \alpha_t)$$

$$R_{t2} = (1 - 2r_t n_{t2} \sin \alpha_t) / 2n_{t2} \sin (\theta_t + \alpha_t)$$

$$S_t = 2r_t \sin \alpha_t (n_{t1} + n_{t2} - 2r_t n_{t1} n_{t2} \sin \alpha_t) / n_{t1} \cdot n_{t2}$$

$$l_t = 2(n_{t1} + n_{t2} - 4r_t n_{t1} n_{t2} \sin \alpha_t) / n_{t1} \cdot n_{t2}$$

(2)

である。ここで、 r_t ：円柱の半径(cm)である。すると

(1)式と(2)式から F_{t1} ， F_{t2} および F_t は、

$$F_{t1} = 4r_t (T/a) \{ \sin (\theta_t + \alpha_t) \} \times (n_{t1} + n_{t2} - 2r_t n_{t1} n_{t2} \sin \alpha_t) \times (n_{t1} + n_{t2} - 4r_t n_{t1} n_{t2} \sin \alpha_t) / \{ (1 - 2r_t n_{t1} \sin \alpha_t) \times (1 - 2r_t n_{t2} \sin \alpha_t) \}$$

$$F_{t2} = 2(T/a) \{ \sin (\theta_t + \alpha_t) \} \times (n_{t1} + n_{t2} - 4r_t n_{t1} n_{t2} \sin \alpha_t)$$

$$F_t = 2(T/a) \{ \sin (\theta_t + \alpha_t) \} \times (n_{t1} + n_{t2} - 4r_t n_{t1} n_{t2} \sin \alpha_t) / \{ (1 - 2r_t n_{t1} \sin \alpha_t) \times (1 - 2r_t n_{t2} \sin \alpha_t) \}$$

(3)

の関係式として与えられる。

B. 被接触面に水切れが存在する段階

水位角 α_t が減少して界面に水切れが生じた場合で曲率半径 R_t (cm)の水膜を仮定すると、図3のような接触モデルが考えられる。そこでまず図の幾何学的関係から水膜の接触長 M_t を求めると、

$$M_t = r_t \sin \alpha_t + R_t \{ \sin (\theta_t + \alpha_t) - \sin \theta' \}$$

(4)

となる。ここで、 θ' ：被接触面における水の接触角($^\circ$)

$$F_c = F_{c_1} + F_{c_2} \quad (15)$$

である。このとき F_{c_1} と F_{c_2} は図から次式のように近似される。

$$\left. \begin{aligned} F_{c_1} &= 2 \cdot r_c \cdot (T/a) \cdot (\sin \alpha_c) \cdot L_c / R_c \\ F_{c_2} &= 2 (T/a) \cdot \{\sin (\theta_c + \alpha_c)\} \cdot L_c \\ F_c &= 2 (T/a) \cdot L_c \{ (r_c \sin \alpha) / R_c + \sin (\theta_c + \alpha_c) \} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

ここで, T , a : 前出, r_c : 円柱の半径 (cm), α_c : 水位角 ($^\circ$), R_c : 曲率半径 (cm), θ_c : 円柱における水の接触角 ($^\circ$) である。また R_c は,

$$R_c = \{r_c (1 - \cos \alpha_c) + h_c\} / \{\cos (\theta_c + \alpha_c) + \cos \theta'\} \quad (17)$$

である。これを (16) 式に代入すると F_{c_1} , F_{c_2} および F_c が求まる。

$$\left. \begin{aligned} F_{c_1} &= 2 r_c \cdot (T/a) \cdot (\sin \alpha_c) \\ &\quad \times L_c \{ \cos (\theta_c + \alpha_c) + \cos \theta' \} \\ &\quad / \{ r_c (1 - \cos \alpha_c) + h_c \} \\ F_{c_2} &= 2 (T/a) \{ \sin (\theta_c + \alpha_c) \} \cdot L_c \\ F_c &= 2 (T/a) \cdot L_c \{ r_c (\sin \alpha_c) \\ &\quad \times \{ \cos (\theta_c + \alpha_c) + \cos \theta' \} \\ &\quad / \{ r_c (1 - \cos \alpha_c) + h_c \} + \sin (\theta_c + \alpha_c) \} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

なお, F_c は接触単位を $L_c = M_c$ としても取り扱える。

2.2.2 水分量

付図 3' から水分量 V_c (g/ L_c cm) は次式のように与えられる (詳しくは付録 3 による)。

$$\begin{aligned} V_c &= \{ (r_c \sin \alpha_c + M_c) \{ r_c (1 - \cos \alpha_c) + h_c \} \\ &\quad + \pi r_c^2 \alpha_c / 180 \\ &\quad - R_c^2 \{ (\sin 2 \alpha_c) / 2 + \pi (180 - \theta_c - \theta' - \alpha_c) / 180 \\ &\quad + \sin \{ (\theta_c + \theta' + \alpha_c) / 2 \} \} \} L_c \end{aligned} \quad (19)$$

ここで, θ' : 前出, h_c : 水膜の厚さ (cm) である。

このときぬれ度 S_c (cm^2) は図 4 から,

$$S_c = 2 M_c \cdot L_c \quad (20)$$

として与えられる。ここで M_c は,

$$M_c = r_c \sin \alpha_c + R_c \{ \sin (\theta_c + \alpha_c) - \sin \theta' \} \quad (21)$$

である。すなわち S_c は,

$$\begin{aligned} S_c &= 2 L_c \{ r_c \sin \alpha_c + \{ r_c (1 - \cos \alpha_c) + h_c \} \\ &\quad \times \{ \sin (\theta_c + \alpha_c) - \sin \theta' \} \\ &\quad / \{ \cos (\theta_c + \alpha_c) + \cos \theta' \} \} \end{aligned} \quad (22)$$

となる。なお, ぬれ度の単位を $S'_c = \pi M_c^2 (\equiv 4 M_c^2)$ (cm^2) としても取り扱える。

3. 試算結果および考察

3.1 円柱状格子モデルの場合

3.1.1 F_{t_1} , F_{t_2} , F_t および S'_t と α_t との関係

綿ブロード 40 s 相当の糸半径と布密度を想定したと

きの密着力 F_{t_1} , F_{t_2} , F_t およびぬれ度 S'_t と α_t との関係を試算し, 図 5 の (a), (b) に示した。表 2 はそのときの試算条件である。表中 θ_t および θ' はぬれ易さの両極端の代表例として, 前者では綿またはポリエステルの, 後者ではポリプロピレンまたはガラスの接触角を利用した。一方, h_t は前報³⁾の結果をもとに一連の値を任意に選択した。図の (a) - 1, (b) - 1 は θ' が 89° とぬれにくい場合の結果で, 図の (a) - 2, (b) - 2 は θ' が 15° とぬれ易い場合の結果である。また図の (a) が F_{t_1} , F_{t_2} および S'_t の対 α_t 曲線, 図の (b) が F_t および F'_t の対 α_t 曲線である。なお, 結果は高水分領域を対象としたモデルであるので, α_t が比較的大きい段階を特に注目して考えたい。

A. S'_t と α_t との関係

図 5 の (a) - 2 の被接触面がぬれ易い θ' が 15° の場合には, h_t が大きくなるにつれて, 水切れ現象の出現が低水位側に移行して遅くなる。このとき, 布構成繊維が, ぬれにくい場合の方がぬれ易い場合よりも水切れ現象の出現が高水位側にある。つまり布構成繊維がぬれにくい場合に水切れが起り易い性質をもっている。一方, 図 5 の (a) - 1 の被接触面積がぬれにくい θ' が 89° の場合には布構成繊維がぬれ易いときぬれにくい場合よりも水切れ現象の出現が高水位側にある。このとき水切れの初期においては h_t が大きいほど水切れの進行が大きく, ぬれ度が小さくなりやすい性質をもっている。そしてその逆転効果は布構成繊維がぬれ易いほど, 水位の高い所で起る (θ_t が 53° のとき, α_t が 35° 近辺で逆転し, θ_t が 71° のとき, α_t が 18° 近辺で逆転する)。つまり θ' がぬれにくい場合には布構成繊維がぬれ易いほど水切れが生じやすい性質をもっている。また (a) - 1 と (a) - 2 の比較では被接触面がぬれにくいほど, 水切れ現象が起り易い性質にあるといえる。すなわち高水分領域にあって水分量が比較的小さい領域ではたとえば皮膚がぬれにくいとして, ぬれ易い繊維ほどぬれ度が小さくてすむことの示唆を与えており, 水分量が多い領域ではその逆の性質をもっているといえる。

B. 密着力と α_t との関係

図 5 の (a) - 1, (a) - 2 から負圧による作用力 F_{t_1} は S'_t が 1 になる近辺で急増し, その後最大値を示した後急減する。最大値は α_t が 85° 近辺で起り, θ_t が 53° のとき 78 g/cm^2 程度の値をとり, θ_t が 71° のとき 50 g/cm^2 程度の値をとる。その値はかなり大きな値であるといえ, みかけ上 θ' や h_t には関係しない。また θ' が 89° のときには α_t が 60° 近辺で -5 g/cm^2 前後の負の極小値をとり θ' が 15° のときには α_t が 45° 近辺で 15 g/cm^2 程度の極小値を示す。つぎに α_t が更に小さくなるに従って F'_{t_1}

Fig. 5 Relation between F_{t1} , F'_{t1} , F_{t2} , F'_t and F'_t and α_t .(a)-1, (b)-1 : $\theta' = 89^\circ$ (a)-2, (b)-2 : $\theta' = 15^\circ$

Table 2 Initial values

T (dyne/cm)	a (cm/sec ²)	r_t (cm)	θ_t (°)	θ' (°)	$n_{t1} \times n_{t2}$ (n/cm ²)	ρ_{tf} (g/cm ³)	α_t (°)	h_t (cm)
73	980	0.0085	53, 71	89, 15	54.7×28.1	1.54	0-130	$1 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-4}$

は大きくなり、逆に α_t が 120° 前後以上になると F_{t1} は負の値を示すようになる。また α_t が小さいところでは h_t が小さいほど F'_{t1} が強調される。一方、界面張力による作用力 F_{t2} は α_t が $30\sim 40^\circ$ 近辺で最大値を示し、その値はほぼ $6\sim 7\text{ g/cm}^2$ 程度の値をとる。そしてその最大値は S'_t の水切れ後に遅れて存在する。その他 α_t が $30\sim 40^\circ$ 以下の領域では θ' が小さく θ_t が大きいとき F_{t2} の作用力が大きく働き、 θ' が大きく θ_t が小さいときには F_{t2} の作用力が小さく作用する。しかし、 α_t が $30\sim 40^\circ$ 以上の領域ではその性質が逆となる。また、 α_t が $100\sim 120^\circ$ 近辺で F_{t2} の対 α_t 曲線がやや上に凸なる性質を示す。なお水切れが生じない α_t 以上では、 θ' に関係なく F_{t2} は同じ値を示す。

以上の結果は和の型で図5の(b)-1, (b)-2の F'_t ないしは F'_t の結果として与えられる。

3.1.2 $F'_t(F'_t)$ と $V_t(V'_t)$ ないしは $W_t(W'_t)$ との関係

図6に $V_t(V'_t)$ ないしは $W_t(W'_t)$ と α_t との関係を示した。 $W_t(W'_t)$ は ρ_{ti} として1.54の綿の比重を用いて計算した。その結果は α_t や h_t の大きさが同じとき、 θ_t が小さくかつ θ' が大きいとき $V_t(V'_t)$ ないしは $W_t(W'_t)$ が小さい性質を示している。なお $V_t(V'_t)$ と $W_t(W'_t)$ との関係は前者の $20\text{ g/m}^2 (=V_t, V'_t \times 10^4)$ が後者のほぼ10%に相当している。図7の(a), (b)には $F'_t(F'_t)$ と $V_t(V'_t)$ ないしは $W_t(W'_t)$ との関係を示した。その結果は

同じ水分量と考えたとき、 θ_t, θ' が共に小さいとき、 F'_t または F'_t が大きくなり、その反対のときには逆の性質を示すといえる。また θ' が大きいときの θ_t による影響では θ_t が小さいほど $F'_t(F'_t)$ が大きくなる。なお h_t が小さいほど曲線全体が低水分側に移動する。

3.1.3 S'_t と $V_t(V'_t)$ ないしは $W_t(W'_t)$ との関係

図8に S'_t と $V_t(V'_t)$ ないしは $W_t(W'_t)$ との関係を示した。その結果は θ' が小さいほど S'_t が大きくなる関係にあり、そのとき θ_t が大きいほど S'_t が大きくなり、 θ_t が小さいほど S'_t が小さい特徴を示している。つまり水分量が同じとき皮膚がぬれにくい性質をもつとすると、ぬれ易い肌着ほどぬれ度が小さい状態を保ちうることになる。

3.1.4 $F'_t(F'_t)$ と S'_t との関係

図9の(a), (b)に $F'_t(F'_t)$ と S'_t との関係を示した。密着力は S'_t に対して二つの極大値を持ち、一つは既述したように $S'_t=1$ の段階で起り、いま一つは S'_t が0.2前後の値を中心に起っている。なお、 S'_t が同じとき密着力は θ_t および θ' が共に小さいとき大きく、その逆の場合には小さい特徴を示している。そのとき h_t が小さいほど極大値は S'_t の小さい方へ移行する。

3.1.5 実測値との関係

A. 密着力の最大値とぬれ度

図6の(a)-1から負圧による最大値は 78 g/cm^2 程度で、界面張力による作用力は 3 g/cm^2 程度である。したがってその和は 81 g/cm^2 ほどとなる。一方、それに

Fig. 6 Relation between V_t, V'_t, W_t and W'_t and α_t .

(a) $\theta' = 89^\circ$

(b) $\theta' = 15^\circ$

Fig. 7 Relation between F_t (F'_t) and V_t (V'_t) or W_t (W'_t).(a) $\theta' = 89^\circ$ (b) $\theta' = 15^\circ$ Fig. 8 Relation between S'_t and V_t (V'_t) or W_t (W'_t).(a) $\theta' = 89^\circ$ (b) $\theta' = 15^\circ$ Fig. 9 Relation between F'_t (F'_t) and S'_t .(a) $\theta' = 89^\circ$ (b) $\theta' = 15^\circ$

相当する綿ブロード40sの実測結果²⁾は密着力の最大値が 12 g/cm^2 程度である。すなわち実測による密着力が負圧の作用も受けているとすると実測結果は試算結果の1/7強であり、他方界面張力のみが作用しているとする実測結果は試算結果の4倍程度となる。ところで試算では水位や水切れが織目に対して均一であると仮定しているが、付録4に示すように水切れが実際には不均一系であることから、負圧や界面張力による作用力が現実には 81 g/cm^2 より小さいことが予想される。つまり、布の密着力は負圧と界面張力の両方からなっており、その結果に従えば実測結果と試算結果とはかなりオーダー的に一致しているものと推察される。

またもう一つの検証として既報の液滴浸透面積²⁾と試算結果によるぬれ度との関係を図10に示すとその結果もオーダー的にかなり一致した関係にあるといえる。なおこのときのぬれ度は式 $R = \mu F_t \cdot S$ から求めた S の値で、すべり抵抗 R と摩擦係数 μ は既報の測定結果²⁾を利用している。

B. 吸湿性と抱水能力

既報のすべり抵抗の実測結果²⁾によれば、密着力は一般に θ_t が大きい試料ほど低水分側に移行しており、モデルによる試算結果とは逆の性質を示している。

Fig. 10 Relation between calculated value of wettedness and measured apparent absorbed-area.

(a) Cotton broads of 40s
(b) Polyester taffeta

これはモデルでは吸湿性に基づく抱水能力を無視しているためである。そこで仮りに θ_t が 53° の円柱状格子モデルにおいて吸湿性に基づく抱水量を8%とすると図6の実線は位相が8%右にずれ、 W_t が16%のところ急増することになる。

つまり、多汗域は別としてその結果はぬれ易さ(接触角)以上に吸湿性効果の重要度を認識させるものである。

他方、 θ_t の違いによる密着力の大きさは実測値の結果を裏付けるもので、 θ_t が小さいほど密着力が大きいことの結果を示している。これは、経験的にも発汗量が多いとき、綿の不快感がこと他強調されるが、その要因の一つともいえる。

3.2 円柱モデルの場合

3.2.1 S_c と V_c との関係

図11と図12に r_c が $5 \times 10^{-4} \text{ cm}$ (木綿繊維相当)のときの V_c および S_c と α_c との関係を示した。表3はその試算条件である。結果は既述の二つのモデルと同じ特徴を示しており、同一水分量を仮定したとき、 θ' が大きき θ_c が小さいほど水位が高く S_c が小さい特徴を示している。つまり、図13の S_c と V_c との関係が求まる。

3.2.2 F_c と V_c および S_c との関係

まず密着力と α_c との関係を図14の(a)、(b)に示した。図の r_c が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}$ のときの h_c による変化を示したもので、図の(b)は h_c が $1 \times 10^{-6} \text{ cm}$ のときの r_c による変化を示したものである。図の(a)の結果は h_c 、 θ_c 、 θ' による影響が既述の二つのモデルによる結果と同じ性質を示している。図の(b)は同じ α_c に対して r_c が大ききほど F_c が大きき、その最大値を与える α_c は r_c が大ききほど小さいことを示している。これは α_c が同じ値を示すとき、 r_c が大ききほど V_c 、 S_c が大ききことによる結果である。つまり先の二つのモデルでは単位面積当りの織目の個数を考慮しているので、モデルの径が小さいほど接触点数が多くなり密着力が大きくなることの結果である。これについては200s相当の試算結果でその事実をとらえている。

図15、図16は r_c が $5 \times 10^{-4} \text{ cm}$ のときの F_c と V_c および S_c との関係を図示したものである。図で θ_c 、 θ' の効果は既述の二つのモデルと同類の特徴を示している。いま、図16において40s綿ブロードを仮定し、既報⁴⁾の接触面積の情報から S_c が0.2以下であるとし、かつ図16の結果から曲線の外挿値が0に近似できる h_c が0に近い場合を仮定すると、わずかな接触面積つまりわずかな水分率で密着力が強く働き、湿感やべたつき、あるいはむれといった不快感に敏感につながる事が推察できる。

つまり、低水分域における吸湿性効果の絶大さが検証し得たといえる。

Fig. 11 Relation between V_c and α_c .(a) $\theta' = 89^\circ$ (b) $\theta' = 15^\circ$ Fig. 12 Relation between S_c and α_c .(a) $\theta' = 89^\circ$ (b) $\theta' = 15^\circ$

Table 3 Initial values

T (dyne/cm)	a (cm/sec ²)	r_c (cm)	θ_c ($^\circ$)	θ' ($^\circ$)	α_c ($^\circ$)	h_c (cm)	L_c (cm)
73	980	5×10^{-4}	53	89	0-50	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-8}$	1
		10 "	71	15			
		20 "					
		40 "

Fig. 13 Relation between S_c and V_c . Fig. 15 Relation between F_c and V_c . Fig. 14 Relation between F_{c1} , F_{c2} and F_c and α_c .(a)-1, (b)-1 : $\theta' = 89^\circ$ (a)-2, (b)-2 : $\theta' = 15^\circ$

Fig. 16 Relation between F_c and S_c .(a) $\theta' = 89^\circ$ (b) $\theta' = 15^\circ$

4. 結 言

(1) 三つのモデルは水分による布の密着力について、共通的特徴を示した。今後、水位の分布、接触点数、吸湿量、抱水量等をモデル化することにより更に詳細な検討が可能と考えられる。

(2) 水分量を同じ基準にとると、ぬれ度はモデルがぬれやすいとき小さく、そのとき被接触面がぬれにくいほど小さい特徴を示す。つまりぬれ度の調節が利く範囲ではぬれやすい肌着ほどぬれ度が小さくてすみ「着心地」にとって有利と考えられる。

(3) モデルによる試算結果は、吸湿効果や抱水能力を考慮すれば布の密着力の実測結果をよく説明しており、一つは水分量の低いところでもっとも敏感に作用する。つまり吸湿性効果の重要度が認識できた。

(4) 水分量が多い段階では吸湿性がありぬれやすい布ほど密着力が大きく作用する。なお中程度の水分量ではぬれの効果が期待できる。

付 録 1

図1'において次のように水分量 V_t を求めた。

円冠 S_{t3} の面積は、

$$S_{t3} = \pi r_t^2 \alpha_t / 180 - r_t^2 \sin \alpha_t \cos \alpha_t \quad (1)$$

となる。つぎに図の面積 S_{t2} , S_{t1} は次式で与えられる。

Fig. 1' Cross-section of the cylindrical lattice in contact with water on the flat plate.

$$\left. \begin{aligned} S_{t2} &= \pi R_{t1} (180 - \theta_t - \alpha_t) / 180 \\ &\quad + \{ R_{t1} \cos (\theta_t + \alpha_t) \} l_{t2} \\ S_{t1} &= \pi R_{t2} (180 - \theta_t - \alpha_t) / 180 \\ &\quad + \{ R_{t2} \cos (\theta_t + \alpha_t) \} l_{t1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

である。ここで、

$$\left. \begin{aligned} l_{t2} &= (1 - 2 r_t n_{t1} \sin \alpha_t) / 2 n_{t1} \\ l_{t1} &= (1 - 2 r_t n_{t2} \sin \alpha_t) / 2 n_{t2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

である。つぎに図の水膜の凹面部の体積を V'_{t_2} , V'_{t_1} とすると、

$$\begin{aligned} V_{t_2} &= S_{t_2} l_{t_1} \\ V_{t_1} &= S_{t_1} l_{t_2} \end{aligned} \quad (4)$$

である。いま斜線の凹部の体積を $(V'_{t_2} + V'_{t_1})/2$ として仮定すると、

$$\begin{aligned} (V_{t_2} + V_{t_1})/2 &= \pi (180 - \theta_t - \alpha_t) (R_{t_1}^2 l_{t_2} + R_{t_2}^2 l_{t_1}) / 360 \\ &+ \{ l_{t_1} l_{t_2} (R_{t_1} + R_{t_2}) \cos (\theta_t + \alpha_t) \} / 2 \end{aligned} \quad (5)$$

で示される。ここで、(5)式を単位面積 (1 cm^2) 当りの体積 $V_{t_{12}}$ (cm^3/cm^2) に変換すると(3)式、(5)式から $V_{t_{12}}$ は、

$$\begin{aligned} V_{t_{12}} &= \{ (V_{t_2} + V_{t_1})/2 \} \cdot n_{t_1} n_{t_2} \\ &= \pi (180 - \theta_t - \alpha_t) \{ n_{t_1} (1 - 2 r_t n_{t_2} \sin \alpha_t) R_{t_1}^2 \\ &+ n_{t_2} (1 - 2 r_t n_{t_1} \sin \alpha_t) R_{t_2}^2 \} / 360 \\ &+ \{ \cos (\theta_t + \alpha_t) \} (1 - 2 r_t n_{t_1} \sin \alpha_t) \\ &\times (1 - 2 r_t n_{t_2} \sin \alpha_t) (R_{t_1} + R_{t_2}) / 4 \end{aligned} \quad (6)$$

で与えられる。

一方、(1)式から単位面積当りの円冠 S_{t_3} 部分が占める円柱状格子モデルの体積 V_{t_3} は、

$$\begin{aligned} V_{t_3} &= S_{t_3} (n_{t_1} + n_{t_2} - 2 r_t n_{t_1} n_{t_2}) \\ &= r_t^2 \{ \pi \alpha_t / 180 - \sin 2 \alpha_t \} / 2 \} \\ &\times (n_{t_1} + n_{t_2} - 2 r_t n_{t_1} n_{t_2}) \end{aligned} \quad (7)$$

となる。また、水位が $r_t (1 - \cos \alpha_t) + h_t$ までの単位面積 (cm^2) 当りの体積 V_h は、

$$V_h = r_t (1 - \cos \alpha_t) + h_t \quad (8)$$

で示される。すなわち(6)式、(7)式、(8)式より、

$$V_t = V_h - V_{t_3} - V_{t_{12}} \quad (9)$$

が与えられ本文の(10)式が成立する。

付 録 2

図 2' において次のように水分量 V'_t を求めた。斜線の面積 S'_{t_2} は、

$$S'_{t_2} = \pi r_t \alpha_t / 180 - r_t^2 \cos \alpha_t \sin \alpha_t \quad (1)$$

で示され、斜線の面積 S'_{t_1} は、

$$\begin{aligned} S'_{t_1} &= \pi R_t^2 (180 - \theta_t - \theta' - \alpha_t) / 360 \\ &- R_t^2 \cos \{ (\theta_t + \theta' + \alpha_t) / 2 \} \\ &\times \sin \{ (\theta_t + \theta' + \alpha_t) / 2 \} \end{aligned} \quad (2)$$

で示される。すると水膜の断面積 S'_t は、

$$\begin{aligned} S'_t &= (2 r_t \sin \alpha_t + 2 M_t) \{ r_t (1 - \cos \alpha_t) + h_t \} / 2 \\ &- S'_{t_2} - 2 S'_{t_1} \end{aligned} \quad (3)$$

で与えられる。いま水膜が格子軸に沿って存在しているとしているので、単位面積 (1 cm^2) 当りの水膜の体積 V'_t は、

$$\begin{aligned} V'_t &= [S'_t (2 r_t + l_{t_1}) + S'_t \{ (2 r_t + l_{t_2}) - 2 M_t \}] \\ &\times (n_t - 1) (n_{t_2} - 1) \end{aligned} \quad (4)$$

で与えられる。つまり、(1)式、(2)式、(3)式および付録 1 の(3)式より本文の(13)式が求められる。

Fig. 2' Cross-section of the cylindrical lattice in contact with water on the flat plate.

付 録 3

図 3' において次のように水分量 V_c を求めた。円冠 S_{c_2} の面積は、

$$S_{c_2} = \pi r_c \alpha_c / 180 - r_c^2 \sin \alpha_c \cos \alpha_c \quad (1)$$

で、円冠 S_{c_1} の面積は、

$$\begin{aligned} S_{c_1} &= \pi R_c^2 (180 - \theta_c - \theta' - \alpha_c) / 360 \\ &- R_c^2 \cos \{ (\theta_c + \theta' + \alpha_c) / 2 \} \\ &\times \sin \{ (\theta_c + \theta' + \alpha_c) / 2 \} \end{aligned} \quad (2)$$

である。すると水膜の断面積 S_c は、

$$\begin{aligned} S_c &= (2 r_c \sin \alpha_c + 2 M_c) \{ r_c (1 - \cos \alpha_c) + h_c \} / 2 \\ &- S_{c_2} - 2 S_{c_1} \end{aligned} \quad (3)$$

で与えられる。ここで水膜の長さが L_c であるので水分量 V_c は $V_c = S_c L_c$ となり本文の(19)式で与えられる。

Fig. 3' Cross-section of the cylinder in contact with water on the flat plate.

付 録 4

図 4' に示す測定方法により、接触面における水切れ現象を顕微鏡下で観測し、図 5' の結果を得た。

Fig. 4' Wettedness between fabric and glass plate.

文 献

- 1) 久山；海織技文集，p.11 (1979)
L. フォート，N. R. S. ホリーズ；「被服機構学」，
光生館 (1972)
鈴木；織学誌，**38**，T-163 (1982)
- 2) 鈴木，大平；織学誌，**29**，T-50 (1973)
鈴木，新海，大平；織機論文集，**26**，T-217
(1973)
- 3) 鈴木；織学誌，**39**，T-246 (1983)
- 4) たとえば，井伊谷ら編；「粉体工学ハンドブック」，
朝倉書店，19 (1965)

Fig. 5' Micrograph of wettedness between cotton broads of 40^s and a glass plate.