Japan society of Home Economics

日本家政学会誌 Vol. 44 No. 7 567～571 (1993)

ラローズ法による布の吸水挙動に対する一つの評価方法

勢田二郎，西村太良*

（山梨大学教育学部，*京都工芸繊維大学地域共同研究センター）

平成4年9月28日受理

An Estimation of Water Absorbency of Cloth by Larose Method

Jiro SETA and Taro NISHIMURA*

Faculty of Education, Yamanashi University, Kofu 400
** Cooperative Research Center, Kyoto Institute of Technology, Kyoto 606*

Using the previously reported laser scanning micrometer for Larose Method, water absorbency of cotton towel, Kanakin and acrylic towel were studied with various contact areas by inserting PET disk with a hole. Results could be roughly expressed by

$$\partial u/\partial t=\alpha(\partial^2 u/\partial r^2+1/r\cdot\partial u/\partial r)+\beta\partial^2 u/\partial z^2$$

where u is absorbed ratio to the equilibrium uptake, t is time, and r and z are the space coordinates measured along parallel and perpendicular directions to the plane of cloth, respectively. Concentration of water was numerically calculated by means of its finite-difference representations. This equation is the same as that of diffusion by cylindrical coordinates. Coefficients of α and β, were approximately determined in order to resemble the calculated curves of the experimental results. The magnitude of these coefficients is a measure of water absorbency. The rate of uptaking along the parallel direction in the plane of cloth was much faster than that along the perpendicular direction. The ratio of β to $\alpha(\beta/\alpha)$ ranged from 0.1 to 0.01, depending on the sensitive characteristic of cloth.

(Received September 28, 1992)

Keywords: water absorbency 吸水性，Larose Method ラローズ法，diffusion equation 拡散方程式，towel タオル，laser scanning micrometer レーザー走査マイクロメーター.

1. 緒 言

衣服の吸水現象は実用上重要であり，布面に垂直方向の吸水速度測定方法として，いわゆる“ラローズ法[1]”による吸水測定が注目されている．この方法は，測定管中の水位変化を肉眼で読み取るために，高吸水性製品の場合には，初期の吸水速度を正確に測定することができず，また連続的に変化する水位の測定には熟練と集中力を要する．そこで，著者の一人は，レーザー走差マイクロメーターを使用し，ラローズ法における水位変化の読み取りを自動化し，高速吸水性繊維製品の吸水挙動を客観的に容易に測定する方法について報告した[2]．また，平成3年2月の通産省による高吸水性繊維製品分科会報告概要[3]に記載の改良ラローズ法は，Fig. 1-(a) に示すように試験布とガラスフィルターとの間に円形の孔（直径 2 cm）を有するポリエチレンテレフタレート製フィルムの遮蔽板を挿入し，布面に対し垂直方向の吸水と平行方向の水の広がりの両方を試験条件に組み込み，より実際の状態に近い環境を設定できるようにしている．遮蔽板の挿入により，水の供給源との接触面積が低下すると，吸水速度は著しく低下し，測定は容易になる[2]．

一方，布面に垂直方向の吸水速度の評価方法として，Miller ら[4] 塩見ら[5] は吸水量 vs. 時間曲線の接線から得られる初期吸水速度や 1/2 平衡吸水量を吸水するのに要する時間 $t_{1/2}$ を用いている．最近，芳住ら[6] は吸水量を指数型関数で整理している．しかしながら，遮蔽板を用いた場合には布面に垂直と平行の両方向の複合系吸水現象であり，孔の大きさにより吸水速度が異なるので，これらの方法では吸水現象を統一的に評価することができない．

本研究では，ラローズ法による吸水挙動を，拡散方程

NII-Electronic Library Service

Japan society of Home Economics

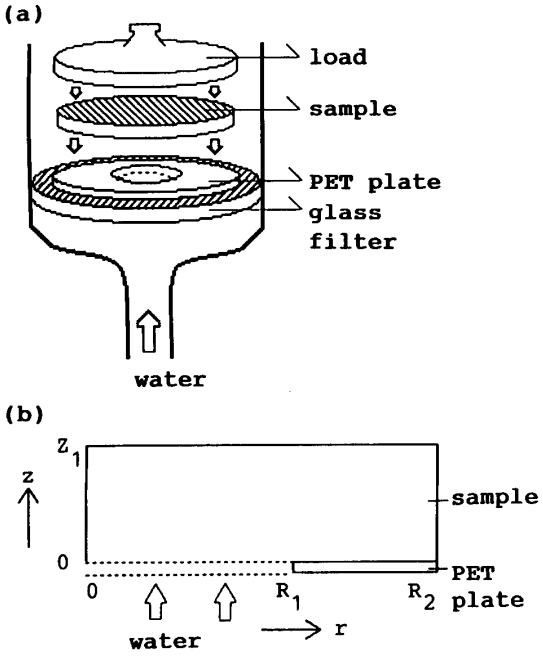

Fig. 1. Schematic of water absorption

式を用い解析することにより，素材の吸水性を，用いる遮蔽板の孔径に依存なく表現できたので報告する．

2. 吸水実験

(1) 試 料

使用した布は，前報[2]に従い準備した直径 4 cm の円形で，(a) 一般的な宣伝用名入れタオル (綿 100 %，重量 215 g/m²)，(b) 金巾 (綿 100 %，重量 115 g/m²)，(c) 市販高吸水性タオル (アクリル 100 %，重量 290 g/m²) である．また，吸水実験にはイオン交換蒸留水を用いた．

(2) 方 法

前報[2]に従い，ガラスフィルター (G2, JIS) のろ過板の表面まで水を満たし，その上に円形の試験布と所定荷重 (17 gf/cm²) を置き，試験布より 5 cm 下方に固定した測定管の目盛り変化をレーザー走差マイクロメーターとパーソナルコンピュータにより自動的に記録した．測定は直径 1 cm と 2 cm の円形の孔を有する 2 種類の遮蔽板を用いた場合と遮蔽板を用いない場合について行った．

3. シミュレーション原理

Fig. 1-(b) に示すような吸水系を考える．これは改良ラローズ法における吸水部の断面の右半分をモデル的に描いたものである．図において，半径 R_2，厚さ Z_1 の円形試験布が半径 R_1 の孔を有する遮蔽板上におかれ，水はこの孔を通して吸水される．

円柱座標系 (r, θ, z) による拡散方程式は，円周 (θ) 方向への濃度変化がない場合には，

$$\partial U/\partial t = D(\partial^2 U/\partial r^2 + 1/r \cdot \partial U/\partial r + \partial^2 U/\partial z^2) \quad (1)$$

となる．ここで U は溶質濃度 (例えば，溶質モル数/単位体積) であり，Dは拡散係数である．布による吸水系において，uを吸水濃度 (布の単位体積中における平衡吸水量に対する吸水量の比) として (1) 式と同型の (2) 式が適用できると仮定する．

$$\partial u/\partial t = \alpha(\partial^2 u/\partial r^2 + 1/r \cdot \partial u/\partial r) + \beta \partial^2 u/\partial z^2 \quad (2)$$

ここに，α および β は，(1) 式のDに相当するものと考えられ，それぞれ半径 (r) 方向および厚さ (z) 方向の吸水速度の寄与を表す係数であり，一定と仮定する．

$r=0$ においては，

$$\partial u/\partial t = 2\alpha \partial^2 u/\partial r^2 + \beta \partial^2 u/\partial z^2 \quad (3)$$

となる[7]．(2) 式と (3) 式 ($r=0$ の時) を差分展開し，次の境界条件を用い，陽解法で数値計算した[7]．差分格子の数は r 方向に 40，z 方向に 10 とした．

$$\left.\begin{array}{lll} z=0,\ 0<r<R_1 & \text{のとき} & u=1 \\ z=0,\ R_1<r<R_2 & \text{のとき} & \partial u/\partial z=0 \\ r=R_2 & \text{のとき} & \partial u/\partial r=0 \\ z=Z_1 & \text{のとき} & \partial u/\partial z=0 \end{array}\right\} \quad (4)$$

4. 結果と考察

(1) 吸水性測定結果

Fig. 2, 3, 4 の○印は，吸水量/平衡吸水量 (M_t/M_0) の時間変化の実測プロットである．Fig. 2, 3 は 0.5 秒ごとの，Fig. 4 のAは 0.1，Bは 0.25 およびCは 0.5 秒ごとの測定結果である．各図において，Aはガラスフィルター上に遮蔽板を置かない場合で，いずれも数秒の間にほぼ平衡値に達し，1/2 平衡吸水量に到達するために要する時間 $t_{1/2}$ の値は，Table 1 のように約 1 秒である．前報[2]に指摘したように，従来のラローズ法やあるいは遮蔽板を挿入する改良ラローズ法に対してレーザー走差マイクロメーターを使用することにより，このような高速吸水挙動を評価することができる．BおよびCは，孔の直径がそれぞれ 2 cm および 1 cm の遮蔽板を試験布とガラスフィルターの間に挿入した時の結果である．ただしFig. 4 において，実測値が途切れているのは，アクリルタオルの平衡吸水量が大きく，本測定系におけるレーザー走査マイクロメーターの測定部がスケールオーバーしたためである．

Fig. 5 は，Fig. 2 のAおよびBの結果について吸水量 vs. 時間の平方根のプロットである．このプロットは直

NII-Electronic Library Service

Japan society of Home Economics

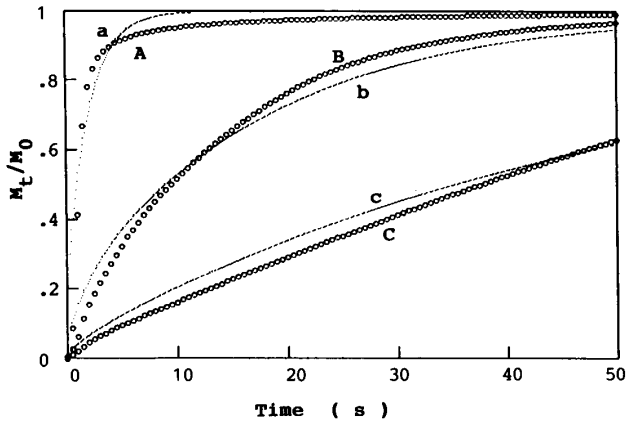

Fig. 2. Water absorbency of cotton towel
M_t/M_0 is the ratio of water uptake to the equilibrium. A, B and C are experimental results and a, b and c are numericaly calculated from diffusion equation, respectively. A: conventional Larose Method, B and C: water is absorbed through PET disk with a hole, 2 cm and 1 cm in diameter, respectively.

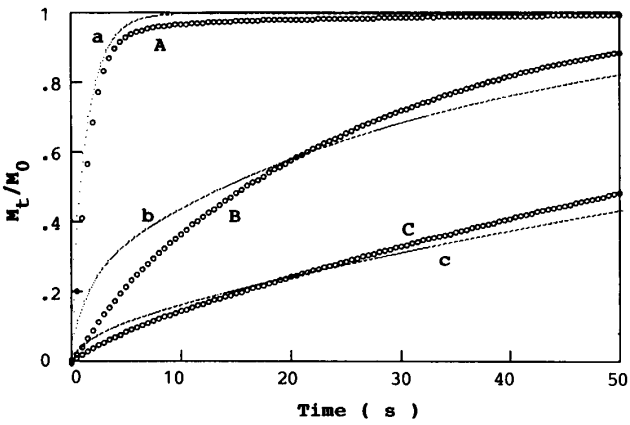

Fig. 3. Water absorbency of Kanakin
Symbols are the same as shown in Fig. 2.

線近似できるといわれている[8)9)]が，本結果においては全体的に直線とみなしがたく，直線近似可能な時間範囲の特定が問題となる．さらにAでは，布面に垂直方向だけの吸水を考えればよいが，B，Cでは垂直方向と平行方向の両方の効果を考えなければならず，単純に水との接触面積の効果だけで議論することはできず，遮蔽板の孔の大きさの効果を統一的に取扱いにくい．

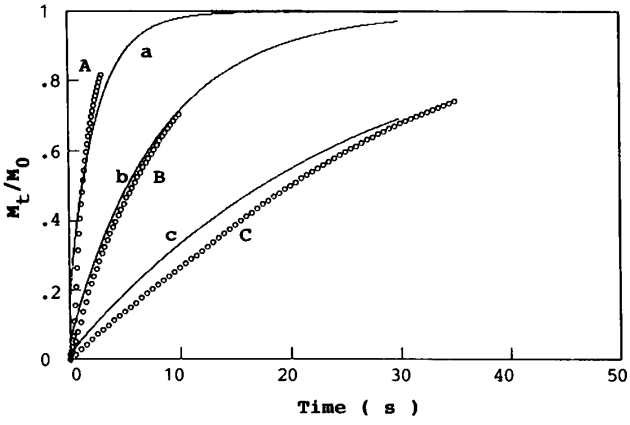

Fig. 4. Water absorbency of acrylic towel
Symbols are the same as shown in Fig. 2.

(2) シミュレーション

吸水量/平衡吸水量の時間変化のシミュレーション結果をFig. 2, 3, 4に点線で示す．遮蔽板を使用しない場合には，r方向の寄与は考えなくてよいため，同図Aで示した実測結果にもっともよく一致する曲線を試行錯誤により求めβの値を先に決定した．点線aはその曲線を示す．次に，このβの値を固定して直径2 cmの孔を有する遮蔽板を用いた実測曲線Bとよく一致するαの値を同様に求めた．計算から得た曲線を各図のbに示す．各試料について求めたα, βの値を Table 1 に示す．これらの値は各数値の最小位において±1程度，すなわち試行錯誤における数値のきざみ幅程度の誤差を有している．

このようにして求めたαおよびβの値を用い，遮蔽板の孔の直径を1 cmにした時の計算結果が各図のcである．孔の直径1 cmにおける実測曲線Cと計算曲線との一致は，Aとaおよびbとの関係とほぼ同程度であ

Table 1. Estimation of water absorbency

Sample cloth	Equilibrium uptake (ml/g)	Rate of uptake, $t_{1/2}$(s)			α	β
		(A)	(B)	(C)	(cm^2/s)	
Cotton towel	2.8	1.1	8.9	38	0.05	0.004
Kanakin	1.7	1.4	15	60	0.02	0.0002
Acrylic towel	3.2	1.2	6.0	20	0.3	0.01

(A): conventional Larose Method, (B) and (C): water is absorbed through PET disk with a hole, 2 cm and 1 cm in diameter, respectively. α and β: coefficients of water uptake along the parallel and perpendicular directions to a plane of cloth, respectively.

NII-Electronic Library Service

Japan society of Home Economics

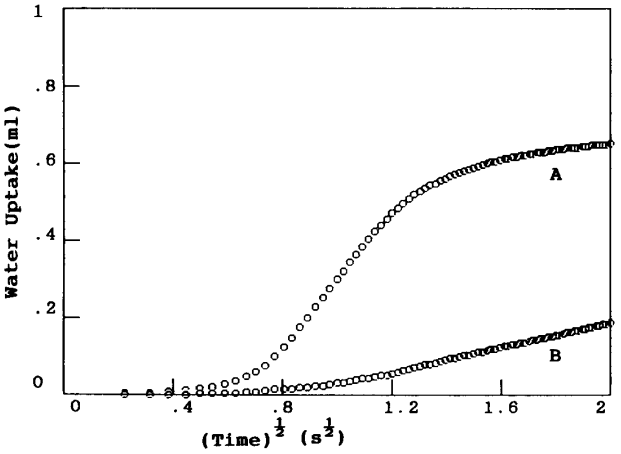

Fig. 5. An example of the plot of water uptake vs. $(\text{time})^{1/2}$ on cotton towel

Symbols are the same as shown in Fig. 2.

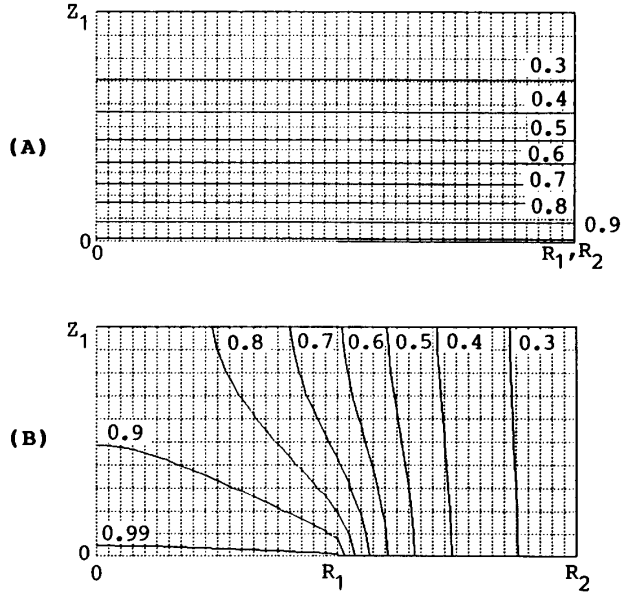

Fig. 6. Calculated distribution curve of water uptake at $t_{1/2}$ in cotton towel

A and B are the same as shown in Fig. 2. Numerical value denotes the ratio of uptake to the equilibrium. Other symbols are referred to the text.

る.

これらの結果から本報告で使用した拡散方程式と同型の (2) 式は，改良ラローズ法による吸水挙動を正確に表現するとは言えないが，大略使用することはできるものと考えられる．加えて，布と遮蔽板の接触面積が異なるにもかかわらずこのように同じ方程式で表現されたことや，平衡吸水量においても遮蔽板の差が認められなかったことは，布と遮蔽板の隙間の水の流れの影響が大きくないことを類推させる．

Table 1 には α, β と共に実験から得られた平衡吸水量および吸水速度の尺度としての $t_{1/2}$ を示した．$t_{1/2}$ は遮蔽板の有無や孔の大きさにより変化するが，係数 α と β の値は遮蔽板の有無や孔の大きさに依存していない．このことから，α と β の値は素材の吸水特性を統一的に表すものであると考えられる．

また，いずれの布の場合にも布面に垂直方向の係数 β は平行方向の α の 1/10～1/100 程度であり，水は平行方向に動き易いことがわかる．塩見ら[5]は，パイル地の初期吸水速度の比較から水平方向の移動速度が垂直方向よりかなり大きいことを示し，また米田ら[9]は，種々の布について吸水現象を拡散モデルとして取り扱い，拡散係数の値が，布面に平行方向で $10^{-2}(\text{cm}^2/\text{s})$ オーダー，垂直方向で $10^{-4}(\text{cm}^2/\text{s})$ オーダーとなることを報告している．これらの結果は本研究とよく一致するものである．

ここに使用した3試料とも遮蔽板を使用しない場合 (A) には $t_{1/2}$ は同程度であり，吸水速度の大小は不明であるが，遮蔽板を使用した時 (B, C) の $t_{1/2}$ の増加割合は吸水速度の大小を反映し，これは α と β の値として明確に表現される．すなわち，Acrylic towel＞Cotton towel＞Kanakin の順に吸水性の優劣が決定される．同じ綿素材のタオルと金巾を比較すると，布面に平行方向および垂直方向のいずれにおいても吸水速度はタオルの方が大きい事がわかる．これは糸の撚りやパイル構造などの織物構造に依存するためと考えられる．

Fig. 6 に，綿タオルの場合の数値を用いた数値計算結果の一例として，(A) 遮蔽板のない場合と (B) 遮蔽板のある (孔直径 2 cm) 場合の $t_{1/2}$ における吸水濃度分布を示す．(A) の場合には等濃度線は布面に平行な直線群であるが (B) については孔の影響を示す曲線群となっている．このような分布の形を解析して布構造と吸水特性を調べることも今後重要になるであろう．

5. 結　言

ラローズ法の測定部にレーザー走査マイクロメーターを使用することにより，高吸水性繊維製品の吸水性を自動的に評価するシステムを用い，試験布とガラスフィルターの間に孔付きの遮蔽板を挿入する改良ラローズ法による吸水特性の測定を行った．得られた結果を放物型偏微分方程式の数値解と比較し解析した．ラローズ法および改良ラローズ法による測定結果の解析から布面に平行および垂直方向の吸水速度の寄与を表す係数，それぞれ α および β，を遮蔽板の孔径に関係なく決めることがで

NII-Electronic Library Service

Japan society of Home Economics

きた．吸水量の時間変化は大略この偏微分方程式により表現でき，$\alpha>\beta$ の関係があり，その比 (β/α) は 1/10～1/100 程度で，これらの係数が布の吸水特性をよく表しており，このような解析手法が有効であることがわかった．従来の布の厚さや構造の違いにより，吸水現象に対する明確な結論を得にくいという欠点を，偏微分方程式を適用することで布を一つの構造物として取り扱うことにより克服することができる．

このように，改良ラローズ法においては孔の大きさを数種変えて測定することにより，布の吸水特性に関する情報をより多く得ることができ，それらの結果を偏微分方程式を用いて解析することが可能であった．

しかしながら，測定結果が数値計算結果と充分一致しているとは言い難く，α と β の決定方法をさらに検討する必要があると考えられる．また最近，米田ら[10]は，布面に垂直な吸水挙動の解析に拡散方程式を用い，拡散係数に濃度依存性があるとして良好な結果を得ている．我々の場合にもこのような取扱いが望まれ，さらに θ 方向の異方性への考慮も今後の課題であろう．

引 用 文 献

1) 大口正勝：繊学誌，**42**，T-704～T-710 (1986)
2) 勢田二郎：家政誌，**44**，499～503 (1993)
3) 通商産業省通商産業検査所：アパレル製品等品質性能対策協議会高吸水性繊維製品分科会報告概要 (1991)
4) Miller, B. and Tyomkin, I.: *Text. Res. J.*, **54**, 706–712 (1984)
5) 塩見　昭，阿部久美子，前田直美：繊消誌，**31**，48～56 (1990)
6) 芳住邦雄，吉田郁子，原田恭子，酒井哲也：繊維学会予稿集，東京，S-77 (1991)
7) G.D. スミス（藤川洋一郎訳）：電算機による偏微分方程式の解法，サイエンス社，東京，45～48 (1976)
8) Kissa, E.: *Text. Res. J.*, **45**, 736–741 (1975)
9) 米田守宏，森戸裕子，丹羽雅子：繊維学会シンポジウム予稿集，東京，C-240～C-242 (1991)
10) 米田守宏，水野祐子，丹羽雅子：繊維学会シンポジウム予稿集，東京，D-60～D-61 (1992)

NII-Electronic Library Service