

# 洗淨の機械作用に関する研究

固体粒子汚れの脱落に関するモデル的解析

Studies on the Mechanical Action of the Laundry  
An Analysis on Falling of Particulate Soils  
by the Model Apparatus

寺 尾 文 範

## I. 緒 言

洗淨機構の解明は大きく別けると、界面活性剤の作用機構と、機械力の作用機構の2つが考えられる。しかしながら、従来までの洗淨に関する研究は、洗淨理論の歴史が、セッケンの界面化学的性質の探求に端を発していることもあり界面活性剤の作用機構に関するものがほとんど<sup>1).2).3).4)</sup>で、機械力の作用機構に関しては、それが全洗淨力の50~60%を占めるにもかかわらず、<sup>5).6).7)</sup>2, 3を除いてはほとんど行なわれていない。

実際の洗淨における洗たく機中での布と洗浴の動きは非常に複雑で、布の動きはもちろん、洗浴の動き自体の解明も非常に困難である。しかし布は洗浴の流れによって何らかの形で抗力を受けており、この抗力が洗淨での機械力の重要な要因であると考えられる。

本研究は、洗淨における洗浴の複雑な動きを簡略した流れとしたモデル実験装置を試作して、布に与える機械力を水流による抗力と考え、汚れの脱落に対する作用について、流体力学的解明のための基礎的資料を得んとした。

## II. 実験方法

### 1. 抗力の理論

流体力学では、流れによる流体中に置かれた物体の受ける抗力は、一般に物体に平行的に働く摩擦抗力： $D_f$  と、垂直的に働く形状抗力： $D_D$  に分類され、物体に加わる抗力は、それらの和すなわち全抗力： $D$ であると考えられる。<sup>8)</sup>

摩擦抗力： $D_f$  は、

$$D_f = \frac{1}{2} C_f S \rho v^2 \quad \text{--- (1)}$$

形状抗力： $D_D$  は、

$$D_D = \frac{1}{2} C_D S \rho v^2 \quad \text{--- (2)}$$

ここで  $C_f$  : 摩擦抵抗係数

$C_D$  : 形状抵抗係数

$S$  : 流れに対する物体の投影面積

$\rho$  : 流体密度

$v$  : 流体速度

と表わされる。(1), (2) 式において,  $\rho$  は一定であるので,  $D_f, D_D$  は  $v^2 \cdot S$  に比例する。従って速度の増加と共に  $D_f, D_D$  は増大し, 実際の洗浄系の場合, 流速に従って汚れの脱落が増すことになる。

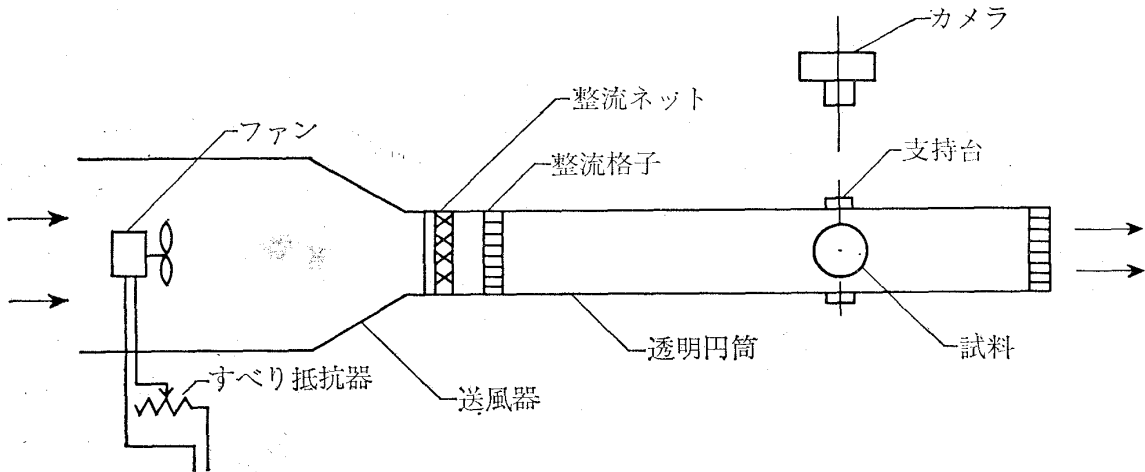


図1 実験装置

## 2. 実験装置の試作

試作した実験装置を図1に示した。

本研究では, 抗力による汚れの脱落について, 観測を容易に行なうため, 水流系を気流系に置き換えて行なった。この場合, 気流速度の調整により, Reynolds' number  $Re$  を水流系のそれと合わせ, 流体力学的な相似状態を保持した。

図1においてファンにより直径 10 cm のアクリル透明円管内に気流を発生させ, その中央に直径 8 cm の試料取付け枠をそう入し, 試料表面に付着した固体粒子を気流により脱落させるもので, 円管内の流速は, スライダックにより, 0 m/sec~6.2 m/sec の範囲で連続的に変えうる。この時, その中を通る流れの臨界流速は, 次式

$$vd/\nu = 2320 = Re_k \quad \text{--- (3)}$$

ここで,  $\nu$  : 流体動粘性係数

$Re_k$  : 臨界 Reynolds 数

により  $d=0.1$  cm,  $\nu=14.56 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$  (15°C) とおいて,  $v=0.34$  m/sec となり, 非常に小さく, なお両端に取付けた整流子によって管内の流れは, 定常流れと見なすことが出来る。なお気流による抗力のうち, 摩擦抗力および, 形状抗力による固体粒子の脱落量がそれぞれ単独に測定できるように, 試料取付け枠は流れに対し種々の角度をとりうる。

## 3. 実験条件

(1) 被付着試料; 試料の表面特性が固体粒子汚れの脱落に影響を与えると考えられるので,

木綿布（ブロード，糸密度たて 50 本/cm，よこ 30 本/cm），ケント紙（厚さ 0.27mm，密度 0.82 g/cm<sup>3</sup>），セロハン紙（厚さ 0.02 mm，密度 1.31 g/cm<sup>3</sup>），プラスチック板（厚さ 0.44 mm，密度 1.30 g/cm<sup>3</sup>）の 4 種類を使用した。それぞれの試料は，直径 8 cm，幅 0.5 cm のステンレス製取付け枠の片面に接着剤を使用して取付けた。

(2) 付着固体粒子；付着汚れ粒子のモデルとして，80 メッシュのカーボランダム 0.1g を被付着試料の表面に均一にふるいによって散布した。その時の付着粒子数は 800～850 であった。

(3) 気流速度；実際の洗たく機での洗浄における水流速度を目安として，それに対する Reynolds' number を合わせて気流の最高速度を 6.2 m/sec とした。なお流速 4.0 m/sec 以下においては，一部の試料について，ほとんど付着粒子の脱落が見受けられなかったので，4.0～6.2 m/sec の範囲で測定を行なった。

(4) 気流に対する試料の方向；気流による摩擦抗力および形状抗力による固体粒子の脱落量を測定するため，気流に対し，水平・垂直・45度の方向に取付け枠をセットした。

#### 4. 固体粒子の脱落量の測定法

試料部円管上にカメラをセットし，ファンを作動させ，流れの生じた時点より，連続写真撮影を行ない，試料表面に残留しているカーボランダムの粒子の数  $n$  をカウントし，次式により脱落率を求めた。

$$\text{脱落率} = \frac{(N-n)}{N} \times 100 (\%) \quad \text{--- (4)}$$

ここで， $N$ ：当初の付着固体粒子数

### Ⅲ. 実験結果・考察

実験結果に基づき，固体粒子の脱落と時間並びに流速との関係について，二，三の知見を述べる。

木綿布など 4 種類の試料について検討した結果は，いずれも木綿布において示された結果と同様の挙動を示したので，以下木綿布において得られた結果を図 2，3 および 4 について述べる。

図 2 から，全ての流速について，ファンによって流れが起こり，固体粒子が脱落し始めてから 3 秒後には，全脱落量の約 85% が脱落した。約 15 秒後には固体粒子の脱落はほとんど見受けられなかったが，最終的に 120 秒後まで測定した。また流速 6.2 m/sec の時最終脱落率は 77% に達した。

図 3 において，各流速の中で特に 4.0 m/sec の時脱落率は低く，流速 6.2 m/sec の時の 1/4 ほどに留った。

図 4 から，流れが被付着試料に垂直に当たった場合，流速 6.2 m/sec 以下の時，固体粒子の

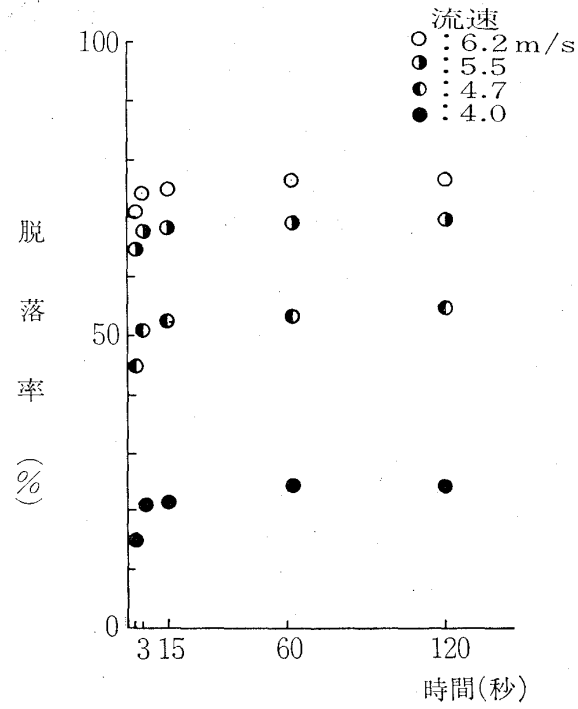


図2 粒子の綿布からの脱落 —流れに水平—

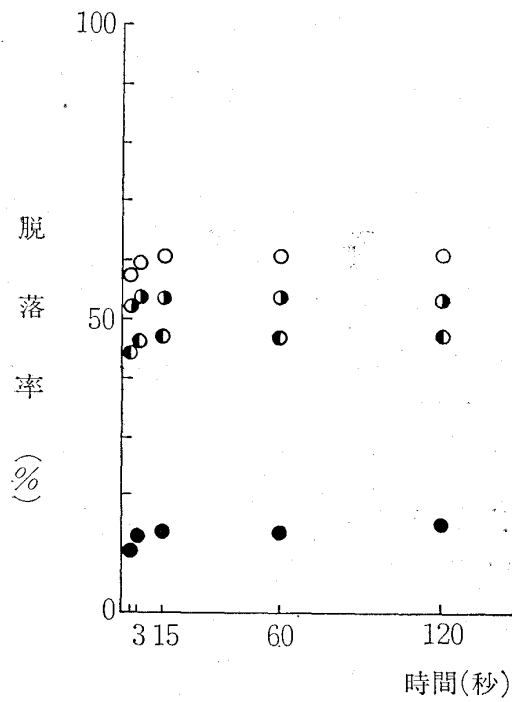


図3 粒子の綿布からの脱落  
—流れに 45°—

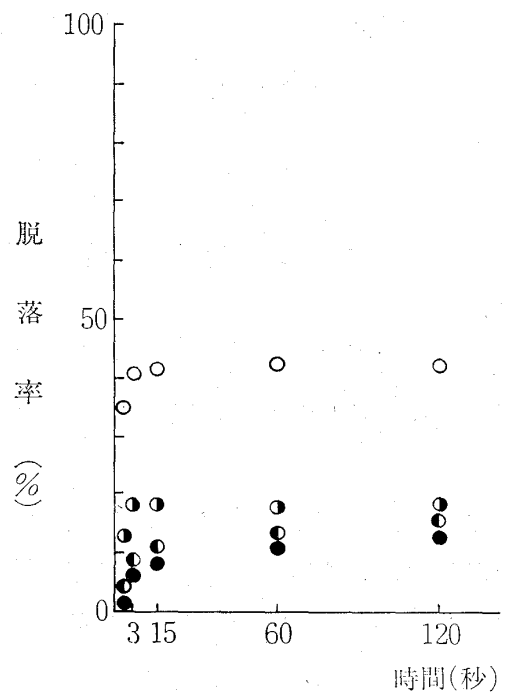


図4 粒子の綿布からの脱落  
—流れに垂直—

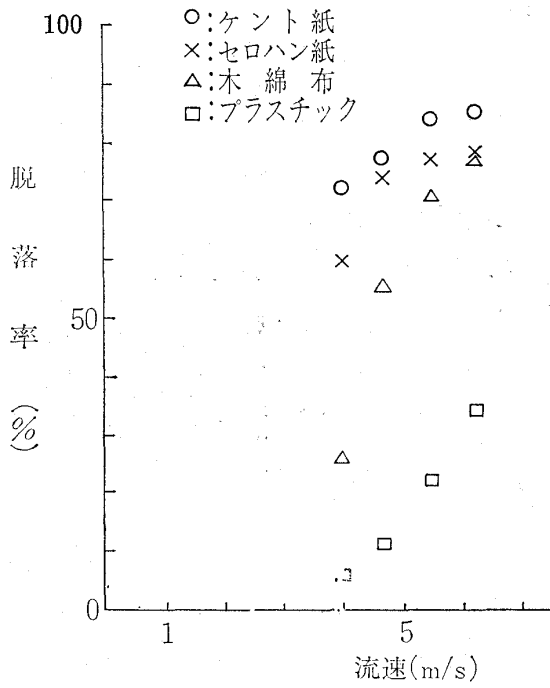


図5 粒子の脱落と流速の関係  
 —流れに水平—

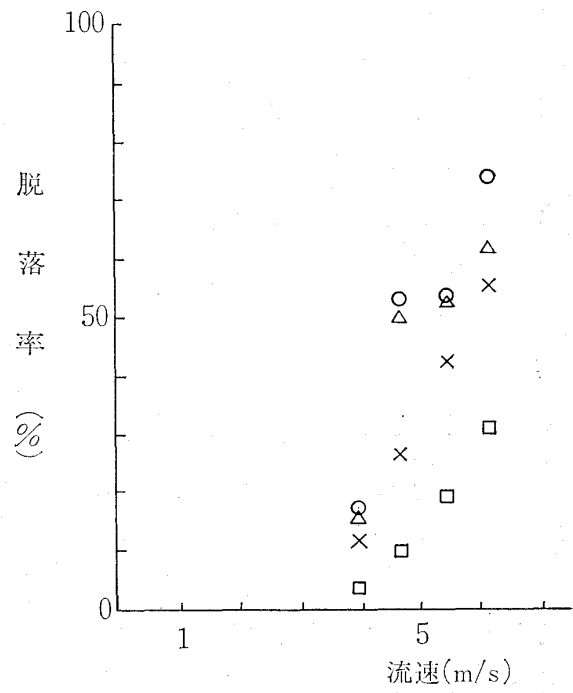


図6 粒子の脱落と流速の関係  
 —流れに 45°—

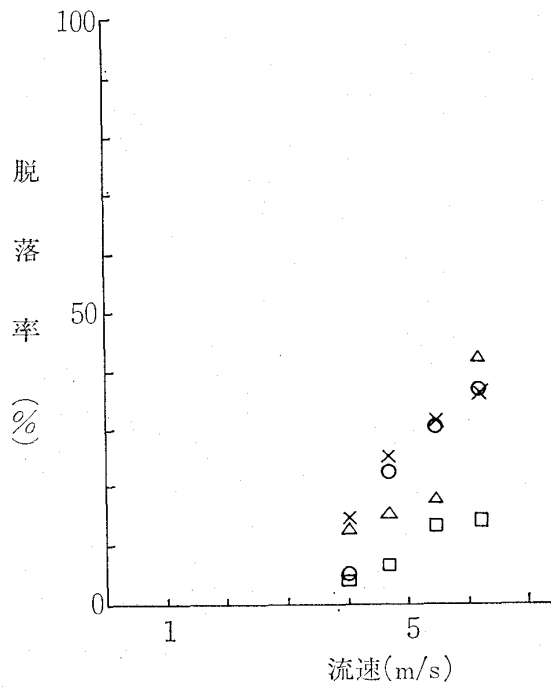


図7 粒子の脱落と流速の関係  
 —流れに垂直—

脱落は非常に低くなった。

これら図2, 3, 4から, 固体粒子の脱落は時間にほとんど依存しないことがわかった。実際の洗浄においては, 布への洗浴の浸透作用や, 界面活性剤による汚れの可溶化・分散等によって, 固体粒子の付着力は時間を追って減少することは一般によく知られている。しかし, 気流による場合このような要因からの固体粒子の脱落の時間的ずれはほとんど起きず, 被付着試料との付着力と流れによる抗力, すなわち流れの速度の大きさによって脱落率は決まると考えられる。そして図2, 3から, 流速が 4.7 m/sec 以上においてその抗力による作用が有効となり。図4において流れに垂直方向にセットした場合は, 固体粒子をある程度脱落させるには 6.2 m/sec 以上の流速による抗力が必要となると思われる。

4種の被付着試料のいずれの場合にも同様の挙動を示した事は, 固体粒子の付着およびその脱落の機構が同一であったと思われる。すなわち, 被付着試料の表面の状態には関係なく, その固体粒子の脱落率の差は, 固体粒子と被付着試料間の例えばファンデルワールス力による付着力の大きさの差によると思われる。

図5, 6, 7は, 各被付着試料について, 流速と, 120秒後における固体粒子の脱落率との関係を, 流れに対する被付着試料の方向についてそれぞれ見たものである。

図5, 6, 7を比較すると, 流速の増加に対する脱落率の変動率がそれぞれ異なって示された。図5において, 流速 4.7 m/sec 以上になると, 脱落率の増加の変動はおまわり大きくなかなか。図6の場合, 図5に比べ脱落率そのものは低いが, 流速の増加によるその変動は著しく大きくなる。また図7について見ると, 図5, 6に比べ, 流速の脱落に及ぼす効果は, 著しく低く, 6.2 m/sec までの範囲では, あまり脱落率の増加が見られなかった。このことは, 流れと試料の方向が大きく脱落率に影響を及ぼしていると言える。

付着固体粒子は, 流れによる抗力と, 被付着試料との付着力のバランスが崩れた時, すなわち抗力が大となった時脱落する。前述の (1), (2) 式における抗力 $\alpha$  (速度<sup>2</sup>) の関係から脱落率は流速に対し, 2次曲線的変動を示すと推定される。この事は図5, 6において顕著に表われた。

また, 固体粒子は付着平面に平行な力すなわち摩擦抗力  $D_f$  によって, 付着平面上でずれ, それによって付着面積はより小さくなり脱落する確率も増す。このずれを起すに必要な力は, 非常に小さくてすむ<sup>9)</sup>。故に, この摩擦抗力の大きさが固体粒子の脱落に寄与する所は大となり, 水平方向にセットした場合ほとんどこの抗力による脱落と考えられる。

一方, 流れ中における被付着試料の状態は, アクリル円管と試料取付け枠の直径が 5 : 4 であるので, 弁開閉角度 0 度 ~ 53 度の一種の円形ちょう形弁であると考えられる。Weisbach の公式により<sup>8)</sup>, 弁による損失水頭  $h$  は,

$$h = \xi v^2 / 2g \quad \text{--- (5)}$$

ここで  $\xi$  : 損失係数

で表わされる。この損失水頭によって、流れ中に置かれた試料に働く抗力は減少することになる。Weisbach の実測によれば、<sup>8)</sup>弁による仕切面積が流管の $\frac{1}{4}$ の時、損失係数は約40となり、試料取付け弁前後で約 $\frac{1}{6}$ の減速となる。図3, 4, 6, 7に示された脱落率の減少は前記の現象を裏付ける結果を示しているものと考えられる。

以上の様に、流れの速度およびそれに対する方向の違いにより、付着固体粒子の脱落率に差異が認められた、そこで120秒後における脱落率について、A：被付着試料の種類を4水準、B：流れの速度を4水準、C：流れに対する方向を3水準にとり、三元配置の分散分析を行なってみた。この結果を表1に示す。

表1 3元配置による分散分析

	S	$\phi$	V	F	F'
被付着体 (A)	9092.3	3	3030.8	60.86**	53.55**
流速 (B)	6263.1	3	2087.7	41.92**	36.89**
流れに対する方向 (C)	10229.8	2	5114.9	102.71**	90.37**
A × B	456.3	9	50.7	1.02	
A × C	3141.5	5	523.6	10.51**	9.25**
B × C	514.1	6	85.7	1.72	$V_{E'}=56.6$
誤差 (E)	896.5	18	49.8		$\phi_{E'}=33$
T	30593.6	47			

\* 危険率5%有意 \*\* 同1%で有意

$$V_{E'} = V_{A \times B} + V_{B \times C} + V_E$$

この結果は、前述の固体粒子と被付着試料との付着力、流速および方向の各要因がそれぞれ有意であることを裏付けている。

今後更に動く試料に対する流れの機械力の関係、界面活性剤の作用により脱落し易くなる付着汚れに対する機械力の影響について検討を行なってみたいと考えている。

#### IV. 結 言

洗浄における機械作用について、最も簡略な流れによる固体粒子の脱落について、試作モデル実験装置による実験から次のような結論を得た。

- 1) 流れの抗力による付着固体粒子の脱落は、短時間に行なわれ時間にはほとんど依存しない。
- 2) 被付着試料の表面に付着した固体粒子汚れの脱落は、流速の増加に従って流れの抗力に比例して増大する。
- 3) 固体粒子の脱落は、被付着試料を流れに水平にセットした時、すなわち摩擦抗力が最大の時に顕著となる。

なお、本報は第28回日本家政学会総会で発表したものである。

最後に、本報の一部は東海学園女子短期大学特別研究助成によるもので、実験に御協力頂いた本学出羽秀明講師および本論文の御校閲を頂いた小形一男教授に併せて感謝を申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 中村・田口：家政誌，10，1 (1959)。
- 2) 藤井・今岡：家政誌，11，4 (1960)。
- 3) 中垣・押谷：家政誌，13，4 (1962)。
- 4) 矢部・林・石井・粒良：織消科誌，7，1 (1966)。
- 5) 中村：家政誌，13，2 (1962)。
- 6) 石崎：家政誌，16，4 (1965)。
- 7) 田中・小島：武庫川女子大学紀要第23集，被・41～被・45 (1975)。
- 8) 植松：水力学，産業図書発行，(1975)。
- 9) 矢部・林：被服整理学，染色化学，光生館発行(1970)。