

## 電線用熱可塑性物質の流線分布

Distribution of the Flowing Lines of the Thermo Plastic Substances  
for Electric Wires

山本三郎\*

## 内 容 梗 概

電線用熱可塑性物質のレオロジーに関する研究の一つに層流性定常流の問題がある。これは温度と荷重に関係する。電線用熱可塑性物質を試料として温度と荷重をきめてオリフィス内の流れの写真を撮った、この方法は同じ試料を二分し、その一つを着色して二つを重ねて押出式プラストメータに入れて荷重をかけると押出式プラストメータのオリフィス内を流れる。これを冷却してえられた紐状のものを縦にさくと流れの分布が色の差からわかる。これを写真に撮った。たとえば塩化ビニル樹脂の層流性定常流をえるには内径 1 mm のオリフィスにおいては荷重 29~47 kg/cm<sup>2</sup>、温度 140°C が最適であつて 130°C、150°C では乱れ、また荷重についても上記範囲に限定される。すなわち温度と荷重との許容範囲がせまい。天然ゴム混和物では温度 80~90°C、荷重 29~47 kg/cm<sup>2</sup>、合成ゴム（ネオプレン GNA）混和物では 70~100°C、29~47 kg/cm<sup>2</sup> でこの両者の許容範囲は比較的広い。ポリエチレンでは温度 130°C で荷重 47 kg/cm<sup>2</sup> 以下である。

## 〔I〕 緒 言

熱可塑性物質のレオロジーと物理的性質の測定について研究を進め、すでに電線用熱可塑性高分子物質すなわち天然ゴム、合成ゴム（ネオプレン GNA）および合成樹脂（塩化ビニル、ナイロン、アミラン、ポリエチレン）の可塑性について論及した<sup>(1)-(14)</sup>。その際押出式プラストメータによる可塑性の3常数について報告してあるが、この場合の理論流出量算出に当つて流線分布が理論の仮定を満足することはすでに報告済みである。以上の趣旨とは別に押出式プラストメータのオリフィス内の流線形状について塩化ビニル樹脂混和物などの温度を変え、また荷重を変えた場合に層流性定常流はどのように変化するかは興味ある問題である。

一方電線工業で扱かつている高分子材料の加工は機械的変形と加熱による化学変化が同時にともなう分野であつて、熱可塑性樹脂の押出加工、ゴムの加硫等は非常に複雑な高分子化学反応と面倒な粘弾性変形とが同時におきて製品がつくられる。熱可塑性高分子物質の粘弾性変形について最近レオロジー（流性学）の立場から合理的に解明しようとして努力されている。このレオロジーの見地からもオリフィス内における熱可塑性高分子物質の層流性定常流に関する研究は大切なものである。しかし最近のレオロジーに関する文献<sup>(15)-(27)</sup>にも層流性定常流の実験結果については報告されていない。またこの問題は筆者が行つてきた一連の研究すなわち電線用熱可塑性高分子物質の最適押出条件を把握するための基礎的データとしても必要なものである。本論文においては天然ゴム、合成ゴム（ネオプレン GNA）および合成樹脂（塩化ビニル、ポリエチレン）について押出式プラストメ

ータのオリフィス内の層流性定常流と温度と荷重との関係について実験を行つたのでこれらについて報告する。

## 〔II〕 塩化ビニルの流線分布

塩化ビニル樹脂混和物の試料としては塩化ビニル（カネカ）100部、可塑剤 DOP (Diocetyl Phthalate) 60部、ステアリン酸鉛 1.5部の配合のものを選び、着色剤としてカーボン 1% を混入して黒色と無色の種類のものを作り、無色と黒色の塩化ビニル樹脂混和物を重ねて押出式プラストメータで内径 1 mm のオリフィスより押出した。本試料を特殊ガイド<sup>(2)</sup>と安全カミソリの刃でオリフィスから押出した試料を2つ割にして写真を撮った。

実験の温度および荷重の範囲は予備実験で検討ののち第1表（次頁参照）のような条件で行つた。

第1表に示す温度、荷重で流線分布を写真にとつた結果は第1図（次頁参照）に示す通りである。

本結果からつぎのことが明らかになつた。

(1) 塩化ビニル樹脂混和物の押出式プラストメータのオリフィス内の流れは 110°C で非常に乱れ、120°C でも乱れはいちじるしい。130°C では乱れは少なくなり 140°C で最もよい流線分布をしている。150°C になると 140°C の場合よりやや悪くなる。160°C になると再び乱れが生じ 170°C では一層乱れが著しくなる。すなわち流線分布には最適の温度があり、それ以上の温度でもそれ以下の温度でも流線は乱れることがわかつた。

これは筆者が従来考えていた温度が上昇するにしたがつて熱可塑性物質の粘度は小さくなりニュートン流動に近ずき、流線分布は良くなるという常識と相反するものである。

(2) 荷重と流線分布との関係は第1図の 140°C の場合の写真からわかるように荷重 29.3, 47.5 kg/cm<sup>2</sup>、温

\* 日立製作所日立電線工場 理博

第1表 塩化ビニル樹脂混和物の流線分布の実験条件  
Table 1. Experimental Condition of the Flowing Lines of PVC Compound

温度 (°C)	荷重 (kg/cm <sup>2</sup> )						
	83.9	65.7	47.5	38.3	29.3	20.0	13.8
110	A	/	/	/	/	/	/
120	/	B	C	/	/	/	/
130	D	E	F	/	G	H	/
140	I	J	K	/	L	M	/
150	/	N	/	O	P	Q	R
160	/	S	T	/	U	V	/
170	/	/	/	/	W	X	/

〔注〕 本表中の符号 A, B, C……は第1図に示す A, B, C……の実験条件である。

度は140°Cが最適の流線分布である。これらのことから流線分布には最適の荷重、最適の温度があることがわかる。

(3) 第1図の140°Cの場合の正常の流線分布からわかるように塩化ビニル樹脂混和物の層流性定常流の先端は平らな分布をしている。これは既報<sup>(2)</sup>で述べた通りである。

〔III〕 天然ゴムの流線分布

天然ゴム混和物の試料としては第2表に示す配合のものを選び、カーボンを全量の1%混入して黒色にしたものと白色の2種類のものを作り、前述の方法と同一要領によつて写真をとつた。実験の温度、および荷重の範囲は第3表のような条件で行つた。

第3表の温度、荷重の範囲で流線分布を写真に撮つた結果は第2図に示す通りである。

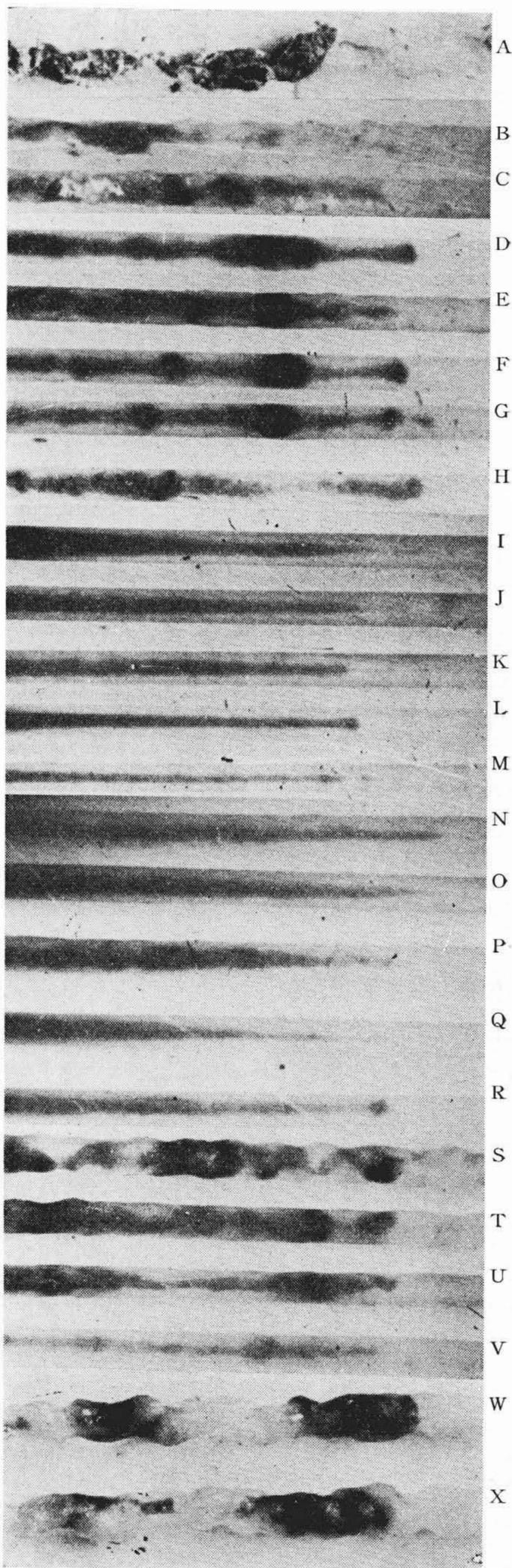
本結果からつぎのことがわかる。

(1) 天然ゴム混和物の場合は温度50°Cから90°Cの範囲にわたつてまた荷重も相当の幅において流線形状は正常であつて乱れを生じない。また第2図の場合温度が50°C、60°Cの比較的低いところにおいては、荷重が大きい程流線形状がふとつているが荷重が小さくなると流線は細くなつて行く。この傾向は温度が高くなり80°C、90°Cでははつきり出ていない。

(2) 流線の先端の形状は塩化ビニル樹脂混和物の場合は平らであつたが天然ゴムの場合は尖つた形状をとつている点が塩化ビニルの場合と大きく異つている。

〔IV〕 合成ゴムの流線分布

合成ゴム(ネオプレンGNA)混和物としては第4表に示す配合のものを選び、前述の方法と同一要領によつて写真を撮つた。実験の温度および荷重は第5表(54頁参照)に示す通りである。



〔注〕 本図 A, B, C……の実験条件は第1表に示す A, B, C……通りである。

第1図 塩化ビニル樹脂混和物の押出式プラストメータのオリフィス内の流線分布(倍率×4)

Fig. 1. Distribution of the Flowing Lines of PVC Compound in the Orifice of Extrusion Type Plastometer

電線用熱可塑性物質の流線分布

第2表 天然ゴム混和物試料の配合表  
Table 2. Mixing Ratio of Testing Natural Rubber Compounds

配合薬品名	生ゴム	加硫剤	亜鉛華	アルドール <sup>a</sup> ナフチルアミン	カーボン	ステアリン酸	パラフィン	白艶華
配合量(部)	100	3	5	1	0	3	1	100

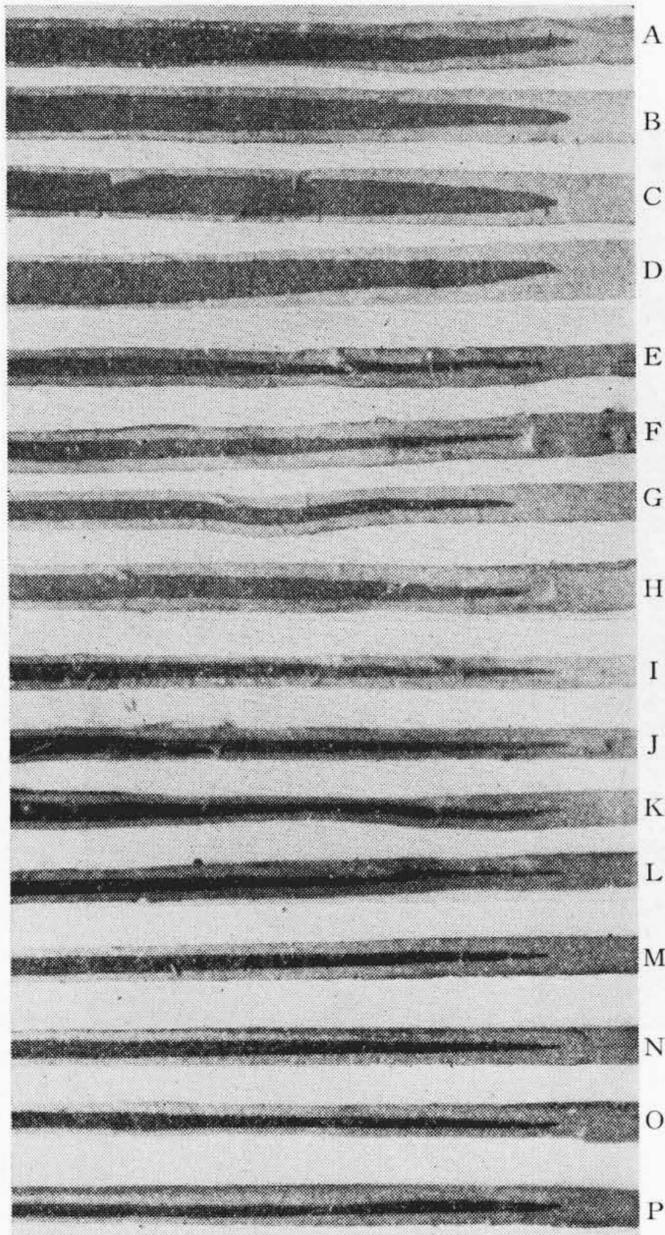
第3表 天然ゴム混和物の流線分布の実験条件  
Table 3. Experimental Condition of the Flowing Lines of Natural Rubber Compounds

温度 (°C)	荷重 (kg/cm <sup>2</sup> )								
	16.8	23.0	29.3	38.5	47.5	56.5	74.7	93.0	111.1
50	/	/	/	/	/	A	B	C	D
65	/	/	/	/	/	E	F	G	H
80	/	/	I	J	K	L	/	/	/
95	M	N	/	O	P	/	/	/	/

〔注〕 本表中の符号 A, B, C…… は第2図に示す A, B, C……の実験条件である。

第4表 合成ゴム混和物試料の配合表  
Table 4. Mixing Ratio of Testing Synthetic Rubber Compounds

配合薬品名	ネオプレン GNA	酸化 マグネシウム	軟化剤 A	ステアリン酸	白艶華
配合量(部)	100	4	10	0.5	120



〔注〕 本図の A, B, C……の実験条件は第2表に示す A, B, C……の通りである。

第2図 天然ゴム混和物の押出式プラストメータのオリフィス内の流線分布 (倍率×3)

Fig. 2. Distribution of the Flowing Lines of Natural Rubber Compounds in the Orifice of Extrusion Type Plastometer

本条件において流線分布を写真に撮った結果は第3図(次頁参照)に示す通りであり、これから次のことがいえる。

(1) 合成ゴム(ネオプレンGNA)混和物の流線形状は天然ゴム混和物によく類似しており、本実験を行った温度、荷重の範囲では正常であつて乱れを生じない。温度40°C, 60°Cにおいては荷重が大きい程流れがふとつているが、荷重が小さくなると流線は細くなる傾向がある。温度が80°C, 100°Cになるとこの傾向は判然としない。

(2) 流線の先端の形状は天然ゴム混和物の場合と同様に尖った形状をとつている。

〔V〕 ポリエチレンの流線形状

ポリエチレンとしてはZ-3859を試料として選び、着色剤として黒トナを1%混入して、前述の方法で流線分布の予備実験を行った結果はポリエチレンの層流性定常流の温度範囲は天然ゴム、合成ゴム(ネオプレンGNA)に比して比較的狭いことがわかつた。また予備実験から測定温度を130°Cと定め、130°C一点で第6表(次頁参照)に示す荷重において流線形状を撮影した結果は第4図(次頁参照)に、また外観図は第5図(次頁参照)のようになる。これからつぎのことがあきらかになつた。

(1) ポリエチレンの層流性定常流の温度範囲は塩化ビニル、天然ゴム、合成ゴム(ネオプレンGNA)に比

第5表 合成ゴム混和物の流線分布の実験条件  
Table 5. Experimental Condition of the Flowing Lines of Synthetic Rubber Compounds

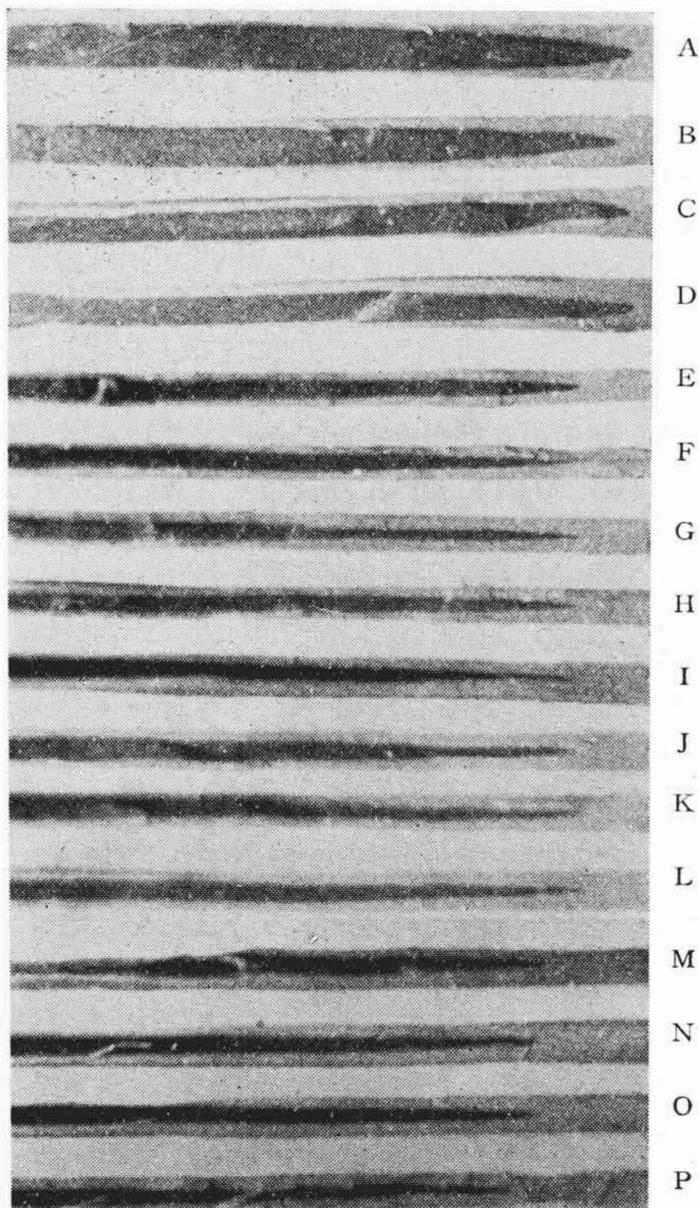
温度 (°C)	荷重 (kg/cm <sup>2</sup> )									
	16.8	23.0	29.3	47.5	60.1	65.7	74.7	83.9	93.0	120.0
40	/	/	/	/	/	/	D	C	B	A
60	/	/	/	H	G	/	F	E	/	/
80	/	L	/	K	/	J	/	I	/	/
100	P	/	O	N	/	M	/	/	/	/

〔注〕 本表中の符号 A, B, C……は第3図に示す A, B, C……の実験条件である。

第6表 ポリエチレン(Z-3859)の流線分布の実験条件  
Table 6. Experimental Condition of the Flowing Lines of Polyethylene

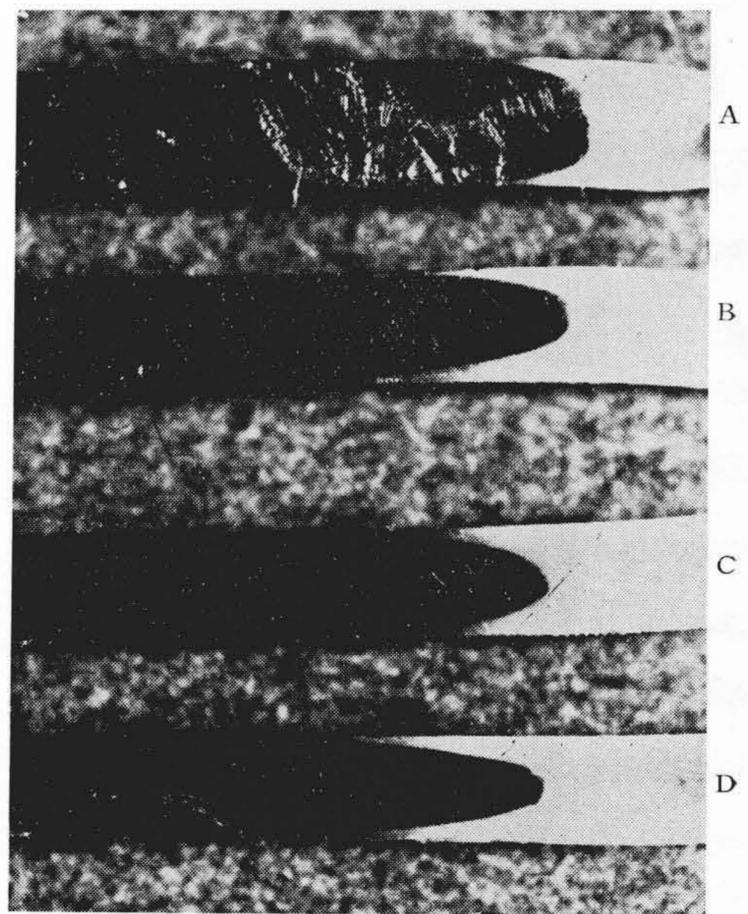
温度 (°C)	荷重 (kg/cm <sup>2</sup> )								
	7.54	10.8	16.5	20.0	29.3	47.5	65.5	74.7	
130	I	D	C	B	H	A, G	F	E	

〔注〕 本表中の符号 A, B, C……は第4図および第5図に示す A, B, C……の実験条件である。



〔注〕 本図の A, B, C……の実験条件は第5表に示す A, B, C……の通りである。

第3図 合成ゴム混和物の押出式プラストメータのオリフィス内の流線分布 (倍率×3)  
Fig. 3. Distribution of the Flowing Lines of Synthetic Rubber Compounds in the Orifice of Extrusion Type Plastometer



〔注〕 本図の A, B, C……の実験条件は第6表に示す A, B, C……の通りである。

第4図 ポリエチレン(Z-3859)の押出式プラストメータのオリフィス内の流線分布(130°C)  
Fig. 4. Distribution of the Flowing Lines of Polyethylene (Z-3859) in the Orifice of Extrusion Type Plastometer (130°C)

較して非常に狭く、温度が高くなると流線の形状をとらずあめ状の流動体となる。

(2) 荷重の影響は荷重が低いほど細く、大きいほど丸味をおびてふとくなる傾向が判然と出ている。

(3) 流線の先端の形状は塩化ビニル、天然ゴム、合成ゴム(ネオプレン GNA)の場合と異なり、丸味をもつたものであることがわかった。

(4) 荷重  $47.5 \text{ kg/cm}^2$  になると流れは乱れ始めて荷重  $74.7 \text{ kg/cm}^2$  ではかなり乱れている。また荷重が  $47.5 \text{ kg/cm}^2$  以下では定常の流れを示している。

## [VI] 結果の検討

### (1) 塩化ビニル

塩化ビニルの場合において  $140^\circ\text{C}$  で最適な層流性定常流であつて  $130^\circ\text{C}$ 、 $150^\circ\text{C}$  で乱れる。これについてはつぎのように考えられる。 $130^\circ\text{C}$  以下では乱れるのは粘度が大きいためであり、これが温度上昇するにしたがつて粘度は小さくなり流線分布もよくなる、 $150^\circ\text{C}$  以上で再び乱れるのはこの辺から塩化ビニルの初期の分解が始められるものと考察される。

### (2) ゴムおよびポリエチレン

前述したように天然ゴム混和物の場合第2図に合成ゴムの場合第3図に、ポリエチレンの場合第4図に明らかのように流線分布は荷重が小さくなるほど細長くなる傾向がある。これについてはつぎのように考えられる。ニュートンの法則によると流体内部における各層の速度が異なる場合には層間に作用する内部摩擦  $R$  は、層流間の相対速度 ( $v$ ) に比例するから、

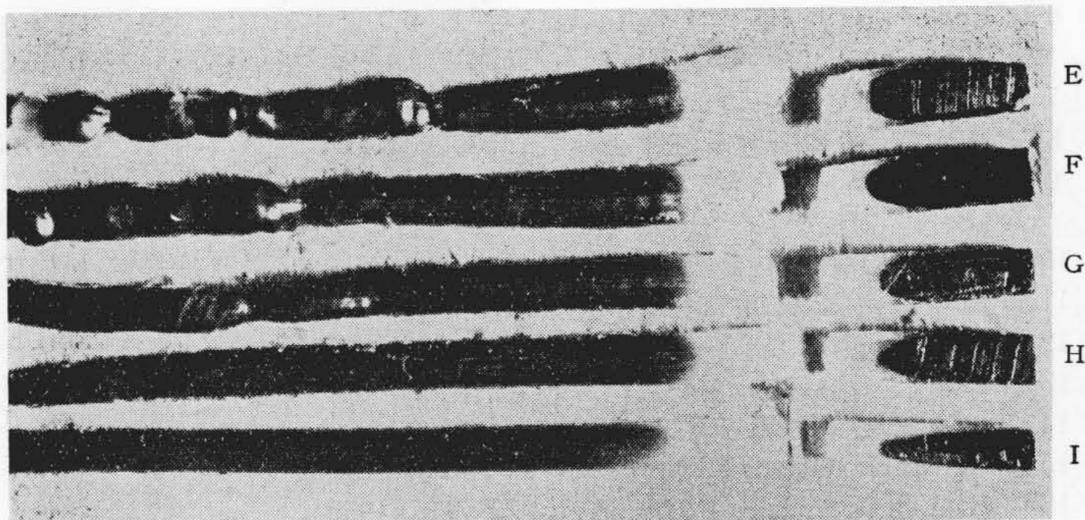
$$R = kv \quad k: \text{常数}$$

をもつて表わすことができる<sup>(28)</sup>。これと同様なことが熱可塑性物質の流動についても考えることができる。今荷重の大きい場合と小さい場合の押出式プラストメータのオリフィス内の流線分布を考えると、荷重の大きい場合は流出速度が大きくなり、したがつて内部摩擦は大きくなる。すなわち荷重が大きくなるにしたがいプラストメータのオリフィスの壁と熱可塑性物質との境界における摩擦の増加に比較して、内部摩擦の増加の方が大きくなるため、オリフィス中央部と壁部との流出量の差は、荷重の小さい場合よりも小さくなると考える。

## [VII] 結 言

以上の結果を総括すると、

(1) 塩化ビニル樹脂混和物の押出式プラストメータのオリフィス内の流線分布には最適の温度があり、それ以上の温度でも、それ以下の温度でも流れに乱れを生ずることがわかった。たとえば DOP 60 部配合のもので



〔注〕 本図の A, B, C……の実験条件は第6表に示す A, B, C……の通りである。

第5図 ポリエチレン (Z-3859) の押出式プラストメータのオリフィス内の流線分布とその外観 ( $130^\circ\text{C}$ )

Fig. 5. Distribution of the Flowing Lines and the Appearances of Polyethylene (Z-3859) in the Orifice of Extrusion Type Plastometer ( $130^\circ\text{C}$ )

$110^\circ\text{C}$  で流れは非常に乱れ、温度上昇にともなつて乱れが少なくなり、 $140^\circ\text{C}$  で最もよい層流性定常流の分布をしている。 $140^\circ\text{C}$  よりさらに温度が上がるとふたたび乱れを生じ  $170^\circ\text{C}$  では乱れが著しくなる。

(2) 塩化ビニル樹脂混和物などの押出式プラストメータのオリフィス内の流線分布と荷重との関係については、温度の場合と同様に流線分布が正常になる最適荷重がある。たとえば DOP 60 部配合の塩化ビニル(カネカ)混和物の場合は温度  $140^\circ\text{C}$  で荷重は  $29.0 \sim 47.5 \text{ kg/cm}^2$  の範囲が流れが正常であることがわかった。

(3) 天然ゴム、合成ゴム(ネオプレン GNA)、ポリエチレンの流線分布は荷重が大きくなると流れはふとくなり、荷重が小さくなると流れは細くなる。

(4) ポリエチレン (Z-3859) では荷重  $47.5 \text{ kg/cm}^2$  を境としてこれより高荷重になると流れは乱れるが、これより低荷重では定常の流れをする。

(5) 塩化ビニル、天然ゴム、合成ゴム(ネオプレン GNA)混和物およびポリエチレンの層流性定常流の場合における流線分布の先端の形状はそれぞれ異つている。塩化ビニル樹脂混和物は先端が平らであり、天然ゴム合成ゴム混和物は先端が尖つており、ポリエチレンの先端は丸味をもつている傾向があることがわかった。

終りに貴重な御討論御指導を戴いた東北大学林威教授、御指導御鞭撻を戴いた日立電線工場齋藤工場長、内藤、山野井両部長、久本課長および実験に援助を戴いた大内、平野両君に厚くお礼申上げる次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 山本, 大内: 日立評論 34 (12) 1483 (昭27-12)
- (2) 山本, 大内: 日立評論 35 (2) 457 (昭28-2)
- (3) 山本: 高分子化学(物理) 10 (102) 405
- (4) 山本: 機械学会茨城地方講演会(昭27-10)
- (5) 山本: 高分子化学(物理) 11 (110) 227 (昭29-6)

(6) 山本: 第9回応物秋季講演会予稿 B-9 (昭27-10)  
 (7) 山本, 大内: 日立評論 35 (6) 977 (昭28-6)  
 (8) 山本: 昭28 電気三学会連大 105 (昭28-5)  
 (9) 山本: 高分子化学(物理) 11 (112) 317 (昭29-8)  
 (10) 山本, 大内: 日立評論 36 (3) 661 (昭29-3)  
 (11) 山本: 昭29 電気三学会連大 179 (昭29-5)  
 (12) 山本, 大内: 日立評論 36 (9) 1385 (昭29-9)  
 (13) 山本: 日立評論 37 (2) 493 (昭30-2)  
 (14) 山本: 日立評論 37 (6) 971 (昭30-6)  
 (15) H. Markovitz: J. Appl. Phys., 23 1070 (1952)  
 (16) H. Leaderman: Rubb. Age., 72 763 (1953)  
 (17) R. W. Thickers: J. Polymer Sci., 10 257 (1953)  
 (18) H. Leaderman: J. Polymer Sci., 13 371 (1954)

(19) H. Leaderman · R. G. Smith · R. W. Jones: J. Polymer Sci., 14 47 (1954)  
 (20) M. Mooney · W. E. Wolstenholme: J. Appl. Phys., 25 1098 (1954)  
 (21) F. J. Padden · T. W. Dewith: J. Appl. Phys., 25 1086 (1954)  
 (22) J. Furukawa: J. Polymer Sci., 15 193 (1955)  
 (23) T. W. Dewith · H. Markovitz · F. J. Padden and L. J. Zapas: J. Colloid Sci., 10 174 (1955)  
 (24) M. Mooney · W. E. Wolstenholme: Rub. Chem and Tech., 28 488 (1955)  
 (25) 石原, 楠本: 高分子 2 (2) 37 (昭28-2)  
 (26) 石原, 楠本: 高分子 3 (2) 41 (昭29-2)  
 (27) 斎藤: 高分子 2 (7) 27 (昭28-7)  
 (28) 小野: 鉛及び鉛合金 29 (山海堂)

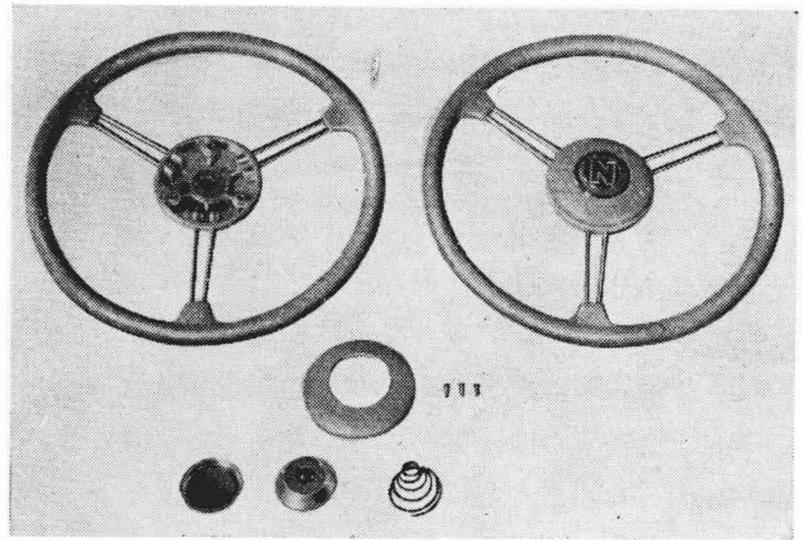
製品紹介

大型車用ステアリングホイール

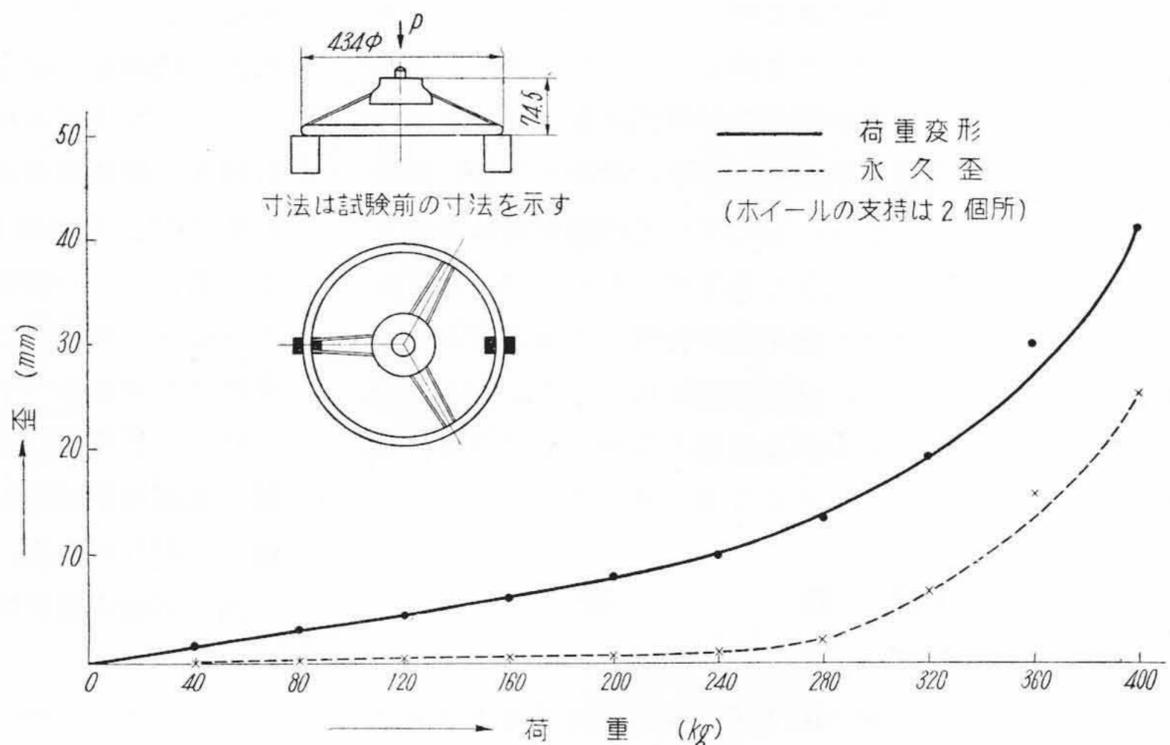
Steering Wheels for Large-sized Car

自動車用ステアリングホイールの成型は、主として熱硬化性樹脂により圧縮成型法で成型されていたが、近時多彩な形状および色調のステアリングホイールが要求され、その需要に応ずるため中小型車用ステアリングホイールは熱可塑性樹脂による射出成型品で納入し好評を博している。日立製作所においては更に十分な基礎技術の上に立つて、淡樺色の大型車用ステアリングホイールを射出成型品で量産化するに至った。その構造は第1図に見られるように、セパレートタイプでホイールの握りも従来の大型車より太くし、外観上からも実用上からいっても、旧型の欠陥を一掃したスマートなものでその特長はつぎの通りである。

- (1) 耐寒性であり長期間使用しても亀裂を生じない。
- (2) 安定性に優れた着色剤の採用により褪色しにくい。
- (3) 長期間使用しても表面が粗面化することがなく、常に美しい光沢を有している。
- (4) ホイールの握りが太いため運転操作が軽快である。
- (5) 第2図に見られるように機械的強度が大でホイールが永久変形する程の苛酷な400kgの荷重をかけてもモールド部に何等の異状がない。



第1図 大型車用ステアリングホイール  
Fig. 1. Steering Wheel for Large Car



第2図 大型車用ステアリングホイールの強度曲線  
Fig. 2. Strength Curves of Steering Wheels for Large Car