

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4815590号
(P4815590)

(45) 発行日 平成23年11月16日(2011.11.16)

(24) 登録日 平成23年9月9日(2011.9.9)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 11/10 (2006.01) GO 1 N 11/10
GO 1 N 11/00 (2006.01) GO 1 N 11/00 C

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2006-53934 (P2006-53934)	(73) 特許権者	304021288
(22) 出願日	平成18年2月28日 (2006. 2. 28)		国立大学法人長岡技術科学大学
(65) 公開番号	特開2007-232539 (P2007-232539A)		新潟県長岡市上富岡町1603-1
(43) 公開日	平成19年9月13日 (2007. 9. 13)	(74) 代理人	100080089
審査請求日	平成21年1月16日 (2009. 1. 16)		弁理士 牛木 護
		(74) 代理人	100119312
			弁理士 清水 栄松
		(72) 発明者	高橋 勉
			新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立
			大学法人長岡技術科学大学内
		(72) 発明者	白樫 正高
			新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立
			大学法人長岡技術科学大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 平面伸張粘度測定方法及び平面伸張粘度測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

粘度測定対象の流体が入った容器に、底面部が幅狭の砲弾型ボブを該底面部から押し込んでゆき、このとき前記砲弾型ボブが前記流体から受ける反力を測定する測定ステップと、

前記砲弾型ボブの外郭寸法を基に前記流体が前記砲弾型ボブを押し上げる力を算出し、該算出された押し上げ力と、前記反力と、前記砲弾型ボブ及び前記容器の隙間の水平断面積とに基づいて前記隙間内で生じる平面伸張応力を算出する応力算出ステップと、

前記砲弾型ボブの外郭寸法と、前記砲弾型ボブの流体内への押し込み速度とを基に算出した前記隙間内での流体速度増加割合で、前記平面伸張応力を除することにより平面伸張粘度を算出する粘度算出ステップと

を備えたことを特徴とする平面伸張粘度測定方法。

【請求項 2】

前記応力算出ステップは、

前記反力から前記押し上げ力を減算することにより、前記隙間内での平面伸張変形による押し下げ力を求め、前記隙間の水平面積で前記押し下げ力を除することにより前記平面伸張応力を算出する

ことを特徴とする請求項 1 記載の平面伸張粘度測定方法。

【請求項 3】

前記応力算出ステップは、

前記砲弾型ボブを前記流体へ押し込むことによる増加浮力と、
前記砲弾型ボブの底面部に作用する底面押し上げ抗力と、
前記隙間内で前記砲弾型ボブに作用する粘性抵抗力とを合算することにより前記押し上げ力を算出する

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の平面伸張粘度測定方法。

【請求項 4】

粘度測定対象の流体が入った容器に、底面部が幅狭の砲弾型ボブを該底面部から押し込んでゆく押し込み手段と、

前記砲弾型ボブを前記流体に押し込んだときに前記砲弾型ボブが前記流体から受ける反力を測定する測定手段と、

前記砲弾型ボブの外郭寸法を基に前記流体が前記砲弾型ボブを押し上げる力を算出し、該算出された押し上げ力と、前記反力と、前記砲弾型ボブ及び前記容器の隙間の水平断面積とに基づいて前記隙間内で生じる平面伸張応力を算出する応力算出手段と、

前記砲弾型ボブの外郭寸法と、前記砲弾型ボブの流体内への押し込み速度とを基に算出した前記隙間内での流体速度増加割合で、前記平面伸張応力を除することにより平面伸張粘度を算出する粘度算出手段と

を備えたことを特徴とする平面伸張粘度測定装置。

【請求項 5】

前記応力算出手段は、

前記反力から前記押し上げ力を減算することにより、前記隙間内での平面伸張変形による押し下げ力を求め、前記隙間の水平面積で前記押し下げ力を除することにより前記平面伸張応力を算出する

ことを特徴とする請求項 4 記載の平面伸張粘度測定装置。

【請求項 6】

前記応力算出手段は、

前記砲弾型ボブを前記流体へ押し込むことによる増加浮力と、
前記砲弾型ボブの底面部に作用する底面押し上げ抗力と、
前記隙間内で前記砲弾型ボブに作用する粘性抵抗力とを合算することにより前記押し上げ力を算出する

ことを特徴とする請求項 4 又は 5 記載の平面伸張粘度測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は平面伸張粘度測定方法及び平面伸張粘度測定装置に関し、例えば非ニュートン流体の平面伸張粘度の測定に適用して好適なものである。

【背景技術】

【0002】

従来、回転軸に取り付けられた円柱状ボブ（ロータ）を粘度測定対象の流体に浸漬した後、回転軸を回転させると共にこのとき円柱状ボブが流体から受ける粘性抵抗力に基づいて流体の粘度を測定する回転粘度計が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

【特許文献 1】特開平 6 - 207898 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、流体の粘度にはせん断粘度と伸張粘度の 2 種類があり、さらに伸張粘度は平面伸張粘度と一軸伸張粘度の 2 種類に分けられている。ここで水や油等のようなニュートン流体では、通常、せん断粘度のみを測定すればその流れを予測できるが、高分子や生物流体等のような非ニュートン流体では、伸張粘度が重要な役割を有し、フィルム成形やブロー成形を行う際に平面伸張粘度が成形性を左右する重要な要素となる。

【0004】

10

20

30

40

50

ところが、従来このような平面伸張粘度を測定する平面伸張粘度測定装置では、固形状の流体を用い、当該流体の一端を固定すると共に、保持部によって流体の他端を引き伸ばすことにより、流体に生じた平面伸張粘度を測定し、この測定結果を用いて平面伸張粘度の解析が進められている。このため、このような平面伸張粘度測定装置では、固形状に形成できる高粘度の流体（以下、これを単に高粘度流体と呼ぶ）のみにしか用いることができず、固形状に形成し難い低粘度の流体（以下、これを単に低粘度流体と呼ぶ）について平面伸張粘度の解析を行い難いという問題があった。

【0005】

そこで、本発明は上記した問題点に鑑みてなされたもので、高粘度及び低粘度の流体について平面伸張粘度の解析を進めることができる平面伸張粘度測定方法及び平面伸張粘度測定装置を提供しようとするものである。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の請求項1における平面伸張粘度測定方法は、粘度測定対象の流体が入った容器に、底面部が幅狭の砲弾型ボブを該底面部から押し込んでゆき、このとき前記砲弾型ボブが前記流体から受ける反力を測定する測定ステップと、前記砲弾型ボブの外郭寸法を基に前記流体が前記砲弾型ボブを押し上げる力を算出し、該算出された押し上げ力と、前記反力と、前記砲弾型ボブ及び前記容器の隙間の水平断面積とに基づいて前記隙間内で生じる平面伸張応力を算出する応力算出ステップと、前記砲弾型ボブの外郭寸法と、前記砲弾型ボブの流体内への押し込み速度とを基に算出した前記隙間内での流体速度増加割合で、前記平面伸張応力を除することにより平面伸張粘度を算出する粘度算出ステップとを備えたことを特徴とするものである。

20

【0007】

本発明の請求項2における平面伸張粘度測定方法は、前記応力算出ステップは、前記反力から前記押し上げ力を減算することにより、前記隙間内での平面伸張変形による押し下げ力を求め、前記隙間の水平面積で前記押し下げ力を除することにより前記平面伸張応力を算出することを特徴とするものである。

【0008】

本発明の請求項3における平面伸張粘度測定方法は、前記応力算出ステップは、前記砲弾型ボブを前記流体へ押し込むことによる増加浮力と、前記砲弾型ボブの底面部に作用する底面押し上げ抗力と、前記隙間内で前記砲弾型ボブに作用する粘性抵抗力とを合算することにより前記押し上げ力を算出することを特徴とするものである。

30

【0009】

本発明の請求項4における平面伸張粘度測定装置は、粘度測定対象の流体が入った容器に、底面部が幅狭の砲弾型ボブを該底面部から押し込んでゆく押し込み手段と、前記砲弾型ボブを前記流体に押し込んだときに前記砲弾型ボブが前記流体から受ける反力を測定する測定手段と、前記砲弾型ボブの外郭寸法を基に前記流体が前記砲弾型ボブを押し上げる力を算出し、該算出された押し上げ力と、前記反力と、前記砲弾型ボブ及び前記容器の隙間の水平断面積とに基づいて前記隙間内で生じる平面伸張応力を算出する応力算出手段と、前記砲弾型ボブの外郭寸法と、前記砲弾型ボブの流体内への押し込み速度とを基に算出した前記隙間内での流体速度増加割合で、前記平面伸張応力を除することにより平面伸張粘度を算出する粘度算出手段とを備えたことを特徴とするものである。

40

【0010】

本発明の請求項5における平面伸張粘度測定装置は、前記応力算出手段は、前記反力から前記押し上げ力を減算することにより、前記隙間内での平面伸張変形による押し下げ力を求め、前記隙間の水平面積で前記押し下げ力を除することにより前記平面伸張応力を算出することを特徴とするものである。

【0011】

本発明の請求項6における平面伸張粘度測定装置は、前記応力算出手段は、前記砲弾型ボブを前記流体へ押し込むことによる増加浮力と、前記砲弾型ボブの底面部に作用する底面

50

押し上げ抗力と、前記隙間内で前記砲弾型ボブに作用する粘性抵抗とを合算することにより前記押し上げ力を算出することを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0012】

本発明の請求項1及び4によれば、高粘度流体だけでなく、固形状に形成し難い低粘度流体であっても平面伸張粘度を求めることができ、かくして種々の粘度を有した流体について平面伸張粘度の解析を進めることができる。

【0013】

本発明の請求項2及び5によれば、反力と押し上げ力と隙間の水平面積とを用いることにより、高粘度流体だけでなく、固形状に形成し難い低粘度流体についても平面伸張応力を求めることができる。

10

【0014】

本発明の請求項3及び6によれば、増加浮力と底面押し上げ抗力と粘性抵抗とを用いることにより、高粘度流体だけでなく、固形状に形成し難い低粘度流体についても押し上げ力を算出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明における好ましい実施例について、添付図面を参照しながら説明する。

【0016】

(1) 平面伸張粘度測定 の概略

20

図1において、1は本発明による平面伸張粘度測定方法が行なわれる平面伸張粘度測定装置を示し、この平面伸張粘度測定装置1は、従来から流体の粘度計測に用いられる回転粘度計に、従来の円柱状ボブとは全く異なる砲弾型形状でなる砲弾型ボブ2を取り付け、パーソナルコンピュータPCに流体の平面伸張粘度を算出するための平面伸張粘度測定処理プログラムを読み込ませた構成を有するものである。

【0017】

實際上、砲弾型ボブ2が装着された回転粘度計(以下、これを平面伸張粘度計と呼ぶ)3は、押し込み手段としての昇降駆動部4と、ベース台5と、このベース台5上に載置された容器6とから構成されている。昇降駆動部4は、棒状のボブ支持部材7が取り付けられ、このボブ支持部材7を鉛直方向に沿って上下動させ得るように構成されている。ボブ支持部材7には、その先端に砲弾型ボブ2が着脱自在に装着されるとともに、当該砲弾型ボブ2及び昇降駆動部4との間に測定手段としてのロードセル8が設けられている。

30

【0018】

平面伸張粘度測定装置1では、粘度測定対象として例えば非ニュートン流体9を容器6の収容部10に入れるように構成されている。實際上、非ニュートン流体9の平面伸張粘度を測定する場合には、先ず昇降駆動部4によってボブ支持部材7を所定時間だけ下方にスライドさせることにより、砲弾型ボブ2を非ニュートン流体9内に浸漬させて一旦停止させる。その後、平面伸張粘度測定装置1は、さらにボブ支持部材7を所定の押し込み速度Vでスライドさせることにより、砲弾型ボブ2を非ニュートン流体9内に押し込んでゆく。

40

【0019】

このとき平面伸張粘度測定装置1では、砲弾型ボブ2に加わる非ニュートン流体からの粘性抵抗がそのままロードセル8に反力として加わる。これにより平面伸張粘度測定装置1では、反力をロードセル8において測定するとともに、当該ロードセル8で得た測定結果をパーソナルコンピュータPCに送出する。

【0020】

これによりパーソナルコンピュータPCは、測定結果を用いて所定の式(後述する)を基に演算処理を実行することにより、非ニュートン流体9の平面伸張粘度を算出することができるように構成されている。

【0021】

50

すなわち、本発明の平面伸張粘度測定方法では、図 2 に示すように、砲弾型ボブ 2 が容器 6 の収容部 10 に押し込まれることにより、当該収容部 10 内の非ニュートン流体 9 が砲弾型ボブ 2 の側面部 11 及び収容部 10 の内壁 12 間の側面隙間 G を通過し、当該砲弾型ボブ 2 の上面部 13 に押し出される。

【 0 0 2 2 】

ここで砲弾型ボブ 2 の側面部 11 及び収容部 10 の内壁 12 間の距離 h は、収容部 10 の直径に比して狭いため、当該距離 h を通過して砲弾型ボブ 2 の上面部 13 側に向かう非ニュートン流体 9 の流れは二次元流れとみなすことができる。

【 0 0 2 3 】

この場合、側面隙間 G では、図 2 に示すように、二次元ポアズイユ流れに近い速度分布 v を示すが、實際上、この速度分布 v は砲弾型ボブ 2 が下方に移動しているため非対称な形となる。なお図 2 において、流れの方向を Z 軸で示し、砲弾型ボブ 2 の側面部 11 及び収容部 10 の内壁 12 間（すなわち 2 平面間）の幅方向を Y 軸で示し、砲弾型ボブ 2 の側面部 11 での壁面せん断速度を w で示している。

【 0 0 2 4 】

これに加えて砲弾型ボブ 2 は、収容部 10 の内壁 12 までの距離 h が徐々に狭くなっていることから、非ニュートン流体 9 内への押し込みにより側面隙間 G において当該非ニュートン流体 9 を所定の加速度をもって流動させ得る。これにより非ニュートン流体 9 は、側面隙間 G 内において平面伸張流動状態となる。

【 0 0 2 5 】

ところで、砲弾型ボブ 2 を非ニュートン流体 9 内に押し込むことにより発生する鉛直方向の反力 F には、流入損失と、側面隙間 G を非ニュートン流体 9 が通過する際の粘性抵抗力 F_v と、流出損失と、砲弾型ボブ 2 の底面部 20 の圧力上昇による押し上げ力（以下、これを底面押し上げ抗力と呼ぶ） F_p と、流体水面下の体積増加による浮力増加分の抗力（以下、これを単に増加浮力と呼ぶ） F_b と、平面伸張流動により発生する法線応力による押し下げ力 F_n との 6 つが作用する。なお図 2 における P_o は大気圧である。

【 0 0 2 6 】

このうち流入損失及び流出損失は、粘性抵抗力 F_v と底面押し上げ抗力 F_p とに比べて流量が小さいことから無視できる。従って砲弾型ボブ 2 を非ニュートン流体 9 内に押し込むことにより発生する反力 F には、粘性抵抗力 F_v 、底面押し上げ抗力 F_p 、増加浮力 F_b 及び押し下げ力 F_n の 4 つが作用するとみなすことができる。

【 0 0 2 7 】

このうち砲弾型ボブ 2 に作用する押し上げる力（以下、これを押し上げ力と呼ぶ）は、増加浮力 F_b 、底面押し上げ抗力 F_p 及び粘性抵抗力 F_v とを合算したものとことから、押し上げ力（増加浮力 F_b 、底面押し上げ抗力 F_p 及び粘性抵抗力 F_v ）と、押し下げ力 F_n と、ロードセル 8 で測定した反力 F との関係は、次式

【 0 0 2 8 】

【数 1】

$$F_n = F - F_v - F_p - F_b \quad \dots (1)$$

によって表すことができる。

【 0 0 2 9 】

實際上、ロードセル 8 により反力 F を測定する場合には、砲弾型ボブ 2 全てを非ニュートン流体 9 内に予め沈ませておく。このため砲弾型ボブ 2 には押し込み前後で浮力の差は生じない。しかしボブ支持部材 7 の一部が非ニュートン流体 9 内に新たに沈み込むため、この分浮力増加の原因となっている。また、砲弾型ボブ 2 を非ニュートン流体 9 内に押し込むことにより、当該非ニュートン流体 9 の液面が上昇するので、この分浮力増加の原因となっている。

【 0 0 3 0 】

従って、非ニュートン流体 9 内にボブ支持部材 7 が沈み込むことによって生じる浮力と、砲弾型ボブ 2 の押し込みによる非ニュートン流体 9 の液面上昇による浮力とを算出し、これらを合わせることににより増加浮力 F_b を求めることができる。

【0031】

また、側面隙間 G における非ニュートン流体 9 の流れ場が計算されることから粘度による圧力損失が求まり、圧力勾配に基づいて砲弾型ボブ 2 の底面部 20 での圧力上昇量 P を算出し、当該圧力上昇量 P を基に底面押し上げ抗力 F_p を求める。

【0032】

さらに、流量 Q を決定して側面隙間 G での速度分布 v を見積もり、これにより砲弾型ボブ 2 の側面部 11 に作用する壁面せん断応力が見積もられ、これを基に粘度抵抗力 F_v を求めることができる。

10

【0033】

以上により上述した式 (1) を用いて法線応力による押し下げ力 F_n を求め、次式

【0034】

【数 2】

$$\sigma = F_n / A_{gap} \quad \dots(2)$$

によって平面伸張応力 σ を求めることができる。ここで A_{gap} は、図 3 (A) に示すように、側面隙間 G の水平断面積を表し、 $(R^2 - r^2) \cdot Z_1$ で求めることができる。この場合 R は、図 3 (B) に示すように収容部 10 の半径を表し、 r は Z 軸の任意の高さ Z_1 での砲弾型ボブ 2 の半径を表す。なお Z 軸は、図 4 に示すように砲弾型ボブ 2 の底面部 20 から上面部 13 に向かう鉛直方向 (すなわち非ニュートン流体 9 の流れ方向) を表し、任意の高さ Z_1 は砲弾型ボブ 2 の高さ d よりも小さいものである。

20

【0035】

ところで非ニュートン流体 9 に砲弾型ボブ 2 を押し込んだとき、側面隙間 G を通り抜ける非ニュートン流体 9 の平均速度は、流れ方向に向かって一定の割合で速くなる。このような非ニュートン流体 9 の流速が速くなる割合 (すなわち流体速度増加割合) を表す平面伸張速度 ϵ' は、次式

【0036】

【数 3】

$$\epsilon' = \left\{ \frac{(R^2 - r_0^2) R^2 V}{R^2 - r^2} - R^2 V \right\} \frac{1}{(R^2 - r_0^2) Z_1} \quad \dots(3)$$

で求めることができる。ここで r_0 は砲弾型ボブ 2 における底面部 20 の半径を表す。このように流体速度増加割合としての平面伸張速度 ϵ' は、砲弾型ボブ 2 の外郭寸法と、当該砲弾型ボブ 2 の押し込み速度 V とにより決定することができる。

【0037】

かくして平面伸張粘度 η_{PE} は、次式

【0038】

【数 4】

$$\eta_{PE} = \sigma / \epsilon' \quad \dots(4)$$

によって平面伸張速度 ϵ' と平面伸張応力 σ との比を取ることにより求めることができる。このようにして砲弾型ボブ 2 の押し込み速度 V を適宜変化させて平面伸張速度 ϵ' と平面伸張粘度 η_{PE} との関係を解析することができる。

【0039】

50

(2) 平面伸張粘度測定装置

図1に示したように、上述した本発明による平面伸張粘度測定方法を実行する平面伸張粘度測定装置1は、平面伸張粘度計3がパーソナルコンピュータPCに接続された構成を有する。

【0040】

平面伸張粘度計3は、容器6の収容部10に砲弾型ボブ2を押し込んでゆき、当該砲弾型ボブ2が非ニュートン流体9から受ける鉛直方向への反力Fをロードセル8で測定し得るように構成されている。

【0041】

因みに、この平面伸張粘度計3は、従来と同様にボブ支持部材7を回転させると共に(図3(A))、このとき砲弾型ボブ2が非ニュートン流体9から受ける回転方向への抵抗力を測定し得るようにも構成されている。

10

【0042】

實際上、図3(B)に示したように、容器6は、有底円筒状に形成されており、その中心軸が砲弾型ボブ2の中心軸21と一致するようにベース台5上に載置され、下降した砲弾型ボブ2全てを収容部10内に収納し得るように構成されている。

【0043】

収容部10は、砲弾型ボブ2の水平断面形状と同一形状からなり、かつその半径Rが砲弾型ボブ2の上面部13での半径r(d)よりも大きくなるように選定され、当該砲弾型ボブ2が収容部10内に挿入されたときに、内壁12と砲弾型ボブ2の側面部11との間に環状の側面隙間Gを形成し得るようになされている(図3(A))。

20

【0044】

ここで側面隙間Gは、収容部10の半径R及び砲弾型ボブ2の半径rに比して小さく選定されていることにより、当該側面隙間G内に流れ込んだ非ニュートン流体を二次元流れとみなすことができるように構成されている。

【0045】

砲弾型ボブ2は、例えばステンレスで形成されており、上面部13から底面部20へゆくに従って半径rが次第に幅狭になる台形円錐状で、かつ当該底面部20と側面部11との間の角部がなだらかな曲線となるように湾曲状に形成されている。このように砲弾型ボブ2は、収容部10内において内壁12との距離hが、上面部13にゆくに従って次第に狭くなるように形成されていることにより、収容部10内へ押し込んだとき、当該側面隙間G内において非ニュートン流体9を所定の加速度で流動させ、当該非ニュートン流体9を平面伸張流動状態とさせ得るように構成されている。

30

【0046】

實際上、砲弾型ボブ2は、図4に示したように、半径rが非ニュートン流体の平面伸張速度 $\dot{\gamma}$ や押し込み速度V等を基に次式、

【0047】

【数5】

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{(R^2 - r_0^2) R^2 V}{\varepsilon' (R^2 - r_0^2) Z_1 + R^2 V}} \quad \dots (5)$$

40

によって表される。すなわち、この砲弾型ボブ2の外径寸法は、収容部10の半径Rや、昇降駆動部4による砲弾型ボブ2の押し込み速度V等によって決定されるようになされている。

【0048】

因みに、この実施の形態の場合、ボブ支持部材7の先端には、図示しないねじ山が螺刻されており、当該ねじ山に砲弾型ボブ2が着脱自在に装着され得る。これによりボブ支持部材7の先端にはユーザが適宜選択した種々の大きさや形状でなる砲弾型ボブ(後述する

50

)を装着し得るようになされている。

【0049】

ところで、図5に示すように、パーソナルコンピュータPCでは、ユーザにより例えばキーボードでなる入力部31が操作されることによって平面伸張粘度測定に関する種々のデータが入力される。

【0050】

入力部31はユーザによって入力されたデータをデータバス32を介してCPU33に供給する。応力算出手段及び粘度算出手段としてのCPU33はROM(Read Only Memory)34に格納されている平面伸張粘度測定処理プログラムに従って平面伸張粘度測定を行うようになされており、入力部31から入力されたデータと、ロードセル8から外部インターフェース37を介して得られた反力データとを用いながら、平面伸張粘度測定を行う。このとき、CPU33は演算結果等のデータを必要に応じてRAM(Random Access Memory)35に格納しながら、平面伸張粘度測定を実行する。CPU33は、このようにして実行された測定結果を、モニタ36において種々の表示形態で表示する。

10

【0051】

ここで、ユーザが入力部31を操作することによって平面伸張粘度測定の実行開始を指定すると、CPU33はROM34に格納されている平面伸張粘度測定処理プログラムに従って平面伸張粘度測定処理を実行する。この場合、CPU33は、外部インターフェース37を介して平面伸張粘度計3に駆動信号を送出する。

【0052】

これにより平面伸張粘度計3は、昇降駆動部4を駆動させることにより砲弾型ポブ2を下降させ、図3(A)に示したように、ロードセル8による測定開始前に予め砲弾型ポブ2全てを非ニュートン流体9内に浸漬させておく。

20

【0053】

次いで、平面伸張粘度計3は、ロードセル8により反力Fの測定を開始するとともに、図6に示すように測定開始から所定時間 t_1 (例えば10s)まで砲弾型ポブ2を停止させ続ける。また平面伸張粘度計3は、所定時間 t_1 経過後から所定時間 t_2 (例えば50s)まで(以下、これを押し込み時間 t_1 と呼ぶ)再び昇降駆動部4を駆動させて非ニュートン流体9内に砲弾型ポブ2を押し込み速度Vで押し込んでゆき、所定時間 t_2 を経過すると、砲弾型ポブ2を停止させる。

30

【0054】

これに加えて平面伸張粘度計3は、測定開始から所定時間 t_2 までロードセル8によって反力Fを測定するとともに、さらに所定時間 t_2 経過後から所定時間 t_3 (例えば50s)までの間ロードセル8によって反力Fを測定し、これら一連の測定結果を反力データとしてパーソナルコンピュータPCに送化する。

【0055】

因みに、この実施の形態の場合、砲弾型ポブ2を収容部10に押し込むことができる距離が例えば6mmと少ないため、押し込み時間 t_1 を約50sと固定し、砲弾型ポブ2の押し込み速度Vを0.001~0.1mm/sの間で適宜設定し得るようになされている。

40

【0056】

パーソナルコンピュータPCのCPU33は、平面伸張粘度計3から受け取った反力データを一旦RAM35に格納するようになされている。CPU33は、上述した(1)式を用いて法線応力による押し下げ力 F_n を算出するために、粘性抵抗力 F_v と、底面押し上げ抗力 F_p と、増加浮力 F_b とを算出する。

【0057】

ここで増加浮力 F_b は、次式

【0058】

【数6】

$$Fb = \rho \pi R_{shaft}^2 \cdot \left(1 + \frac{R_{shaft}^2}{R^2 - R_{shaft}^2}\right) V_t g \quad \dots(6)$$

によって求まる。この場合、 ρ は粘度測定対象たる流体（この場合、非ニュートン流体）の密度を表し、 R_{shaft} はポブ支持部材7の半径を表し、 g は重力加速度を表す。

【0059】

なお、式(6)の括弧内の第1項（左側の項）はポブ支持部材7の沈み込みによって生じる浮力を表し、当該式(6)の括弧内の第2項（右側の項）は側面隙間Gから排出した非ニュートン流体9の液面上昇による浮力を表す。

10

【0060】

ここで式(6)においては、ポブ支持部材7の半径 R_{shaft} や流体密度 ρ 等の各値が入力部31を介してユーザにより入力され、CPU33は、押し込み速度 V 及び押し込み時間 t_1 を基に Fb を求める。

【0061】

また、粘性抵抗力 Fv は、次式

【0062】

【数7】

20

$$Fv = \mu \cdot \gamma_w \cdot As \quad \dots(7)$$

によって求められる。ここで μ はせん断粘性係数を表し、従来用いられている回転粘度計（回転粘度計）によって予め測定しておいたものである。また As は砲弾型ポブ2の側面部11における表面積（側壁面積）を表す。さらに γ_w は壁面せん断速度を表し、砲弾型ポブ2における側面隙間Gの流入口及び流出口でのべき乗則を考慮した速度分布 v から求めることができる。

【0063】

因みに、側面隙間Gでの速度分布 v は、単位時間あたりの流量 Q より見積もるが、この速度分布 v は、通常の粘度測定によりずり速度と粘度との関係を求めておき、べき乗則等の方程式を用いて求める。なお流量 Q は、次式

30

【0064】

【数8】

$$Q = A_B \cdot v \quad \dots(8)$$

によって決定される。ここで A_B は砲弾型ポブ2における底面部20の底面積を表し、 v は $(r_o)^2$ から求めることができる。

【0065】

40

さらに面押し上げ抗力 Fp は、次式

【0066】

【数9】

$$Fp = A_B \cdot \Delta P \quad \dots(9)$$

によって求めることができる。ここで ΔP は砲弾型ポブ2に作用する圧力上昇量を表し、圧力勾配を表す式を基に求められる。

【0067】

このようにしてCPU33は、粘性抵抗力 Fv と、底面押し上げ抗力 Fp と、増加浮力 F

50

bとを算出するとともに、ロードセル8によって測定した反力Fを用いて式(1)から押し下げ力F_nを求める。

【0068】

またCPU33は、設定した押し込み速度V等を基に式(3)から平面伸張速度'を求めた後、当該平面伸張速度'と押し下げ力F_nとを基に式(4)から平面伸張粘度 μ_E を求めるようになされている。

【0069】

さらに流体からの反力Fを測定すると、CPU33はロードセル8による測定結果をRAM35に格納するとともに、図7(B)に示すように、押し込み速度Vに応じた解析結果(例えばD11は押し込み速度Vが0.01mm/Sのときの解析結果)をモニタ36に可視表示する。これにより、ユーザはモニタ36に表示された波形の分布状態からこのとき解析した非ニュートン流体9の平面伸張粘度の状態を把握することができる。

【0070】

因みに図7(B)に示した解析結果は、図8(A)に示すような砲弾型ボブ40を用いたときのものであり、また収容部10の半径Rを14.46mmとし、非ニュートン流体9としてひも状ミセルを形成する界面活性剤水溶液(CTAB(臭化セチルトリメチルアンモニウム)/NaSal(サリチル酸ソーダ))を用いたときのものである。この場合パーソナルコンピュータPCには、ユーザにより入力部31が操作されることによって、弾型ボブ40の底面積や側壁面積、押し込み速度V等の平面伸張粘度測定に関して必要な種々のデータが入力されることになる。

【0071】

なお、上述した実施の形態においては、固形状に形成し難い低粘度の非ニュートン流体9を適用するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、固形状に形成し難い低粘度のニュートン流体等の各種低粘度流体を適用することができる。因みに図7(A)は、砲弾型ボブ40を用いてニュートン流体(例えば、粘度計校正用標準液(JS2000))について解析した結果である。

【0072】

實際上、砲弾型ボブ40は、図8(A)に示すように、短台形円錐状でなる砲弾部41と、円柱部42とが一体成形された構成を有する。この場合、砲弾部41は、半径が上面部43へくくに従って次第に幅広になるように形成されていることから、非ニュートン流体9内への押し込みにより収容部10との間の側面隙間Gにおいて当該非ニュートン流体9を所定の加速度をもって流動させ得る。これにより非ニュートン流体9は、側面隙間G内において平面伸張流動状態となる。

【0073】

因みに、この場合、砲弾型ボブ40は、砲弾部41の高さが約10mmに選定され、円柱部の高さが約20mmに選定され、砲弾部41における上面部43の直径が約27.67998mmに選定され、底面の半径が約10mmに選定された構成を有する。

【0074】

そして、このパーソナルコンピュータPCでは、波形の色を押し出し速度Vに応じて種々変更することにより、種々の押し出し速度Vにより測定された反力Fを1つの画面上に表示することができる。

【0075】

またパーソナルコンピュータPCでは、入力部31の切換操作によって、ニュートン流体(JS2000)及び非ニュートン流体(CTAB)毎に押し込み速度Vに応じた平均反力F(ave)を算出し、図9(A)に示すように、当該平均反力F(ave)の変化を1つの画面上に表示することもできる。

【0076】

さらに、平面伸張粘度測定装置1では、図8(B)及び(C)に示すような砲弾型ボブ50,60等を平面伸張粘度計3に順次装着し、これら砲弾型ボブ50,60毎に得られた複数の測定結果を、図9(B)に示すように、モニタ36において1つの画面上に表示することもできる

10

20

30

40

50

。なお図9(B)は非ニュートン流体として上述した界面活性剤水溶液(CTAB)を用いた測定結果を示したものである。

【0077】

(3)動作及び効果

以上の構成において、平面伸張粘度計3では、固形状に形成し難い低粘度の非ニュートン流体9であっても、収容部10に入れて砲弾型ボブ2を押し込むことにより、当該低粘度流体を側面隙間Gにおいて平面伸張状態にできる。

【0078】

この場合、平面伸張粘度計3では、砲弾型ボブ2と収容部10との水平断面形状が同一形状となり、かつ砲弾型ボブ2の中心軸21を容器9の中心軸と一致させた状態で押し込むようにしたことにより、側面隙間Gにおいて均一な平面伸張流動を実現できる。

10

【0079】

また、平面伸張粘度計3では、このとき砲弾型ボブ2が受ける反力Fを測定するとともに、その測定結果をパーソナルコンピュータPCにリアルタイムで送出する。

【0080】

これによりパーソナルコンピュータPCでは、砲弾型ボブ2の外郭寸法を基に砲弾型ボブ2に作用する押し上げ力(すなわち増加浮力 F_b 、底面押し上げ抗力 F_p 及び粘性抵抗力 F_v)を算出し、これら算出された押し上げ力と、反力Fと、側面隙間Gの水平断面積とに基づいて当該側面隙間Gでの平面伸張応力を算出する。

【0081】

20

次いで、パーソナルコンピュータPCでは、砲弾型ボブ2の外郭寸法と、当該砲弾型ボブ2の非ニュートン流体9内への押し込み速度Vとを基に算出した平面伸張速度 $\dot{\gamma}$ で平面伸張応力を除することにより、非ニュートン流体9の平面伸張粘度 η_{PE} を求めることができる。この結果、平面伸張粘度測定装置1では、固形状に形成し難い非ニュートン流体9について平面伸張粘度 η_{PE} の解析を容易に進めることが可能になる。

【0082】

また、平面伸張粘度測定装置1では、従来用いられている回転粘度計の円柱状ボブを砲弾型ボブ2に取り換えるとともに、上述した式(1)~(4)等の各演算処理を行うための平面伸張粘度測定処理プログラムをパーソナルコンピュータPCに読み込ませるだけで、従来の回転粘度計で測定不可能であった平面伸張粘度についても新たに測定することができる。

30

【0083】

このように本発明は、従来から用いられている回転粘度計が備える昇降機やロードセル等の基本的機械構成をそのまま利用できるもので、平面伸張粘度測定装置1の製造コストの低減を図ることができる。

【0084】

以上のようにこの実施例では、容器6に砲弾型ボブ2を押し込むことにより側面隙間Gで非ニュートン流体9を平面伸張状態とするとともに、このとき砲弾型ボブ2が受ける反力Fを測定し、この反力Fとユーザが入力した各条件とを用いて式(1)~(4)に従い演算処理を実行するようにしたことにより、高粘度の非ニュートン流体だけでなく、固形状に形成し難い低粘度の非ニュートン流体であっても平面伸張粘度を求めることができ、かくして高粘度及び低粘度の流体について平面伸張粘度の解析を進めることができる。

40

【0085】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、種々の変形実施が可能である。上述した実施の形態においては、パーソナルコンピュータPCと平面伸張粘度計3とを別体に構成した平面伸張粘度測定装置1を適用するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らずパーソナルコンピュータPCと平面伸張粘度計3とを一体構成とした平面伸張粘度測定装置を適用するようにしても良い。

【図面の簡単な説明】

【0086】

50

- 【図 1】本発明の平面伸張粘度測定装置の全体構成を示す斜視図である。
 【図 2】容器に砲弾型ポブを押し込んだときに働く抗力の様子を示す縦断面図である。
 【図 3】砲弾型ポブ及び容器の詳細構成を示す水平断面図及び縦断面図である。
 【図 4】砲弾型ポブの詳細構成を示す側面図である。
 【図 5】平面伸張粘度測定装置の回路構成を示すブロック図である。
 【図 6】砲弾型ポブの押し込みタイミングを示すタイミングチャート図である。
 【図 7】解析結果のモニタ表示例（1）を示す斜視図である。
 【図 8】他の実施の形態による砲弾型ポブの側断面構成を示す縦断面図である。
 【図 9】解析結果のモニタ表示例（2）を示す斜視図である。

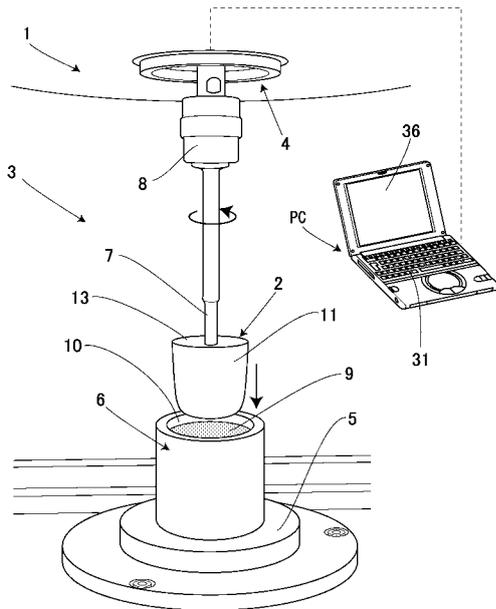
【符号の説明】

【 0 0 8 7 】

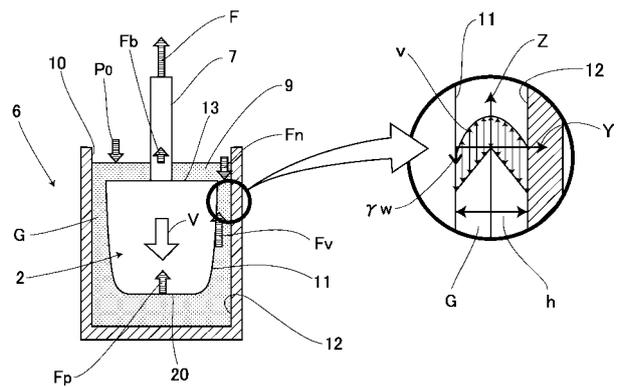
- 1 平面伸張粘度測定装置
- 2 砲弾型ポブ
- 4 昇降駆動部（押し込み手段）
- 6 容器
- 8 ロードセル（測定手段）
- 20 底面部
- 33 CPU（応力算出手段及び粘度算出手段）
- G 側面隙間（隙間）

10

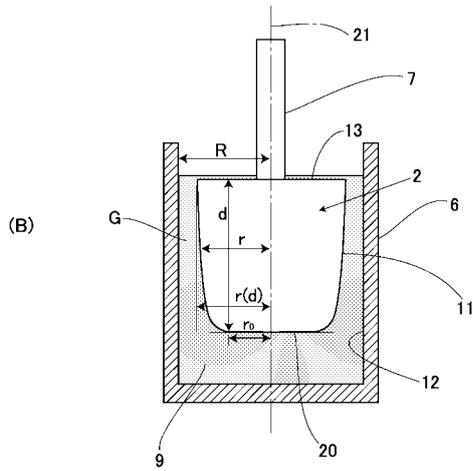
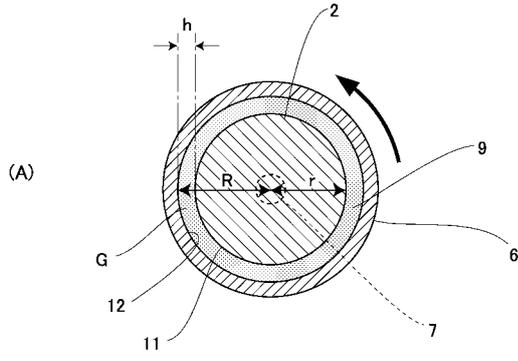
【図 1】



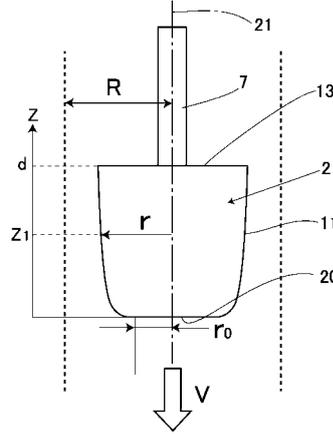
【図 2】



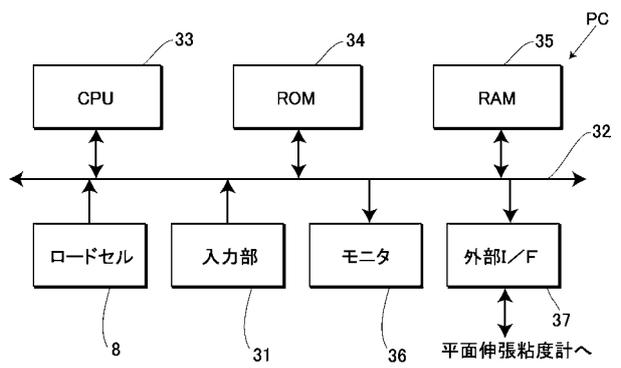
【図3】



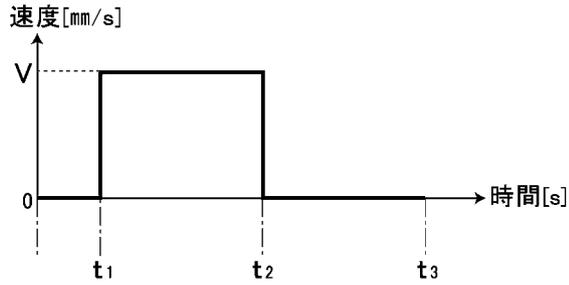
【図4】



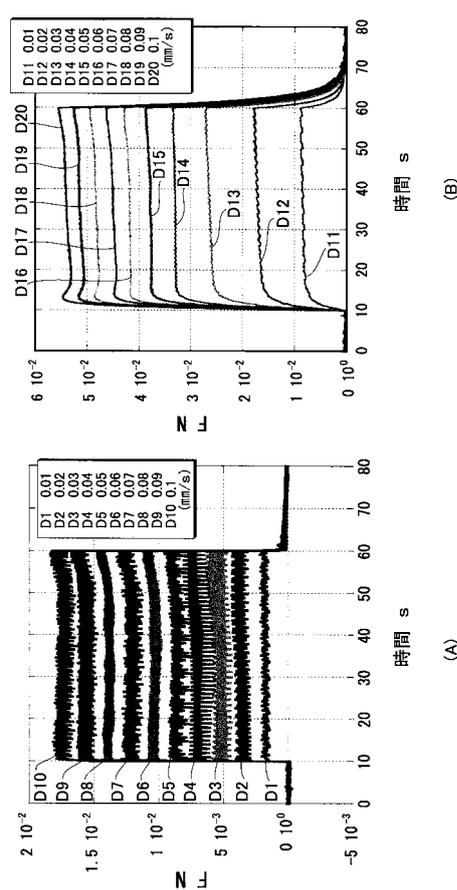
【図5】



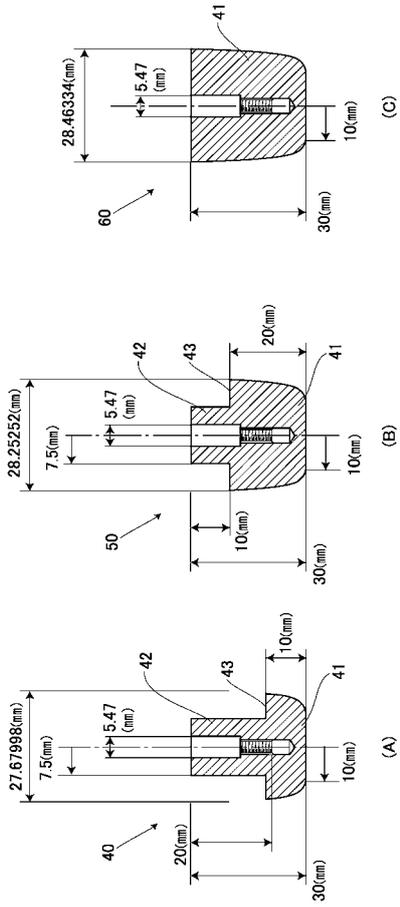
【図6】



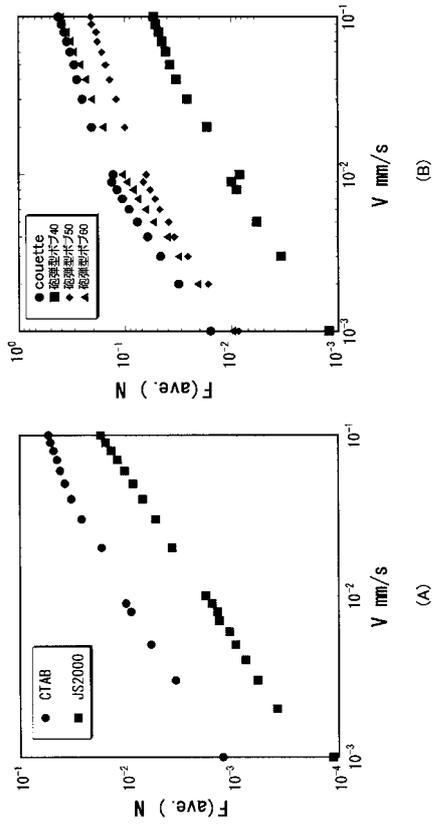
【図7】



【 8 】



【 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 河野 稔弘

新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立大学法人長岡技術科学大学内

審査官 野田 洋平

(56)参考文献 実開昭63-99258(JP,U)

特開2001-59806(JP,A)

特開平5-72101(JP,A)

特開平6-11432(JP,A)

加藤学、他、二次元対向流れにおける流動複屈折測定を用いた定常平面伸張粘度測定、日本機械学会2005年度年次大会講演論文集(2)、2005年9月18日、第47頁-第48頁

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01N 11/00 - 11/16

G01N 3/00 - 3/62

JSTPlus(JDreamII)