

## 第7章 粘度ってなに？

黒木 裕志郎\*

### 30. 粘度とは

それによって、塗りやすさや塗った後のレベリング性やタレなどの不具合の起きやすさなどを決める重要な指標ではあるが、今一つ正確には理解しにくいものが粘度ではないだろうか？

粘度というのは流体の特徴的な性質である。「粘度はある流体の層が動くのにもなって別の層も動く時の流体の内部摩擦の尺度」と定義される。粘度は温度に大きく依存するので温度管理が極めて重要になる。粘度を測定する際の標準的な単位は  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ：ミリパスカル秒 (SI：国際単位系) または  $\text{cP}$ ：センチポアズ (CGS 単位系) であり、 $1\text{mPa}\cdot\text{s}$  (ミリパスカル秒) =  $1\text{cP}$  (センチポアズ)、 $1\text{dPa}\cdot\text{s}$  (デシパスカル秒) =  $100\text{mPa}\cdot\text{s}$  (ミリパスカル秒)、 $1\text{dPa}\cdot\text{s}$  (デシパスカル秒) =  $1\text{P}$  (ポアズ) の関係となる。

粘度は、物質の流れにくさ = 流体中の物体の動きにくさを表すものであるが、一方で、動粘度は、流体そのものの動きやすさを表すものである。この動きやすさに影響するものが密度になる。動粘度と粘度の関係は、「動粘度は粘度を密度で割ったもの」となり、式では、動粘度 = 粘度 / 密度で示される。式から同じ物質でも密度が変わると動粘度も変わることがわかる。また、動粘度を示す単位である「 $\text{m}^2/\text{s}$ 」から、流体が「単位時間当たりに動く面積」とも言い

換えることができる。動粘度の単位では、 $\text{m}^2/\text{s}$  (SI：国際単位系)、または  $\text{St}$ ：ストークス (CGS 単位系) が用いられる。 $1\text{St} = 0.0001\text{m}^2/\text{s}$ 、 $1\text{St}$  (ストークス) =  $100\text{cSt}$  (センチストークス)、 $1\text{cSt} = 1\text{mm}^2/\text{s}$  の関係になる。たとえば、「 $1\text{St}$  は密度が  $1\text{g}/\text{cm}^3$  で粘度が  $1\text{P}$  (ポアズ) である流体の動粘度」などと言い表すことができるが、動粘度は粘度とは逆に数値が大きいほど動きやすい流体であることを表しているので注意が必要だ。

したがって、後述する流体の流れやすさを測定するフローカップで測定するのは動粘度となる。

### 31. ニュートン流体と非ニュートン流体

ニュートン流体では、ある温度での粘度は、使われている粘度計の型やスピンドルや速度にかかわらず一定しており、水と薄いエンジンオイルがその典型例である。JIS では、「せん断応力と速度こう配の比が時間または速度こう配によって変化しない」と特徴づけている。

非ニュートン流体は、せん断応力とせん断速度が線形を示さないもので、違う作業状況では違う粘度の値となる。同一の作業状況を維持し、かつ定義された作業プロセスに従って分析が行われた時だけ、別の粘度計でも再現することができる。これらの流体では、粘度計のモデル、サンプル容器の大きさ、容器に入れる試料の充填量、試料の温度、スピンドル形状、回転速度、

\*くろき ゆうしろう コーテック(株)  
カスタマーサポート部

第4表 流体の性状と適用する粘度測定方法

測定方法	試料の性状
フローカップ法	塗料の場合は希釈後の比較的低粘度になった状態で測定するのに適する非ニュートン流体では測定結果が変化し不確定となり不向き
ストーマー粘度計法※	ニュートン流体でも非ニュートン流体でも測定に適する ただし非ニュートン流体の場合には測定条件の厳密な管理・記録が必要

※クレプス・ストーマー粘度計とも言われる回転式粘度計

測定所要時間(時間依存性)により粘度の値が影響を受けることとなる。

JISでは、「例えば、チクソトロピック流体では検査前に攪拌をした資料は、攪拌していない試料よりも流下時間が短くなる」と非ニュートン流体の1つの特徴を例示している。このような流体ではフローカップにより粘度を測定すると流下時間に変化が生じてしまうため不向きとなる。

チクソトロピックとは一定のせん断力をかけると粘度が徐々に下がり、せん断力を与えなくなると粘度が増大し元に戻る液体のことを言う。

### 32. 測定方法

ここでは、K5600-2-2に記載された3つの方法、フローカップ法(希釈された塗料)、ガードナー型泡粘度計法(透明塗料)、ストーマー粘度計法のうち、一般にニュートン流体に対して多用されるフローカップ法(Determination of flow time by use of flow cup)、続いて非ニュートン流体にも適用するストーマー粘度計法について説明する(第4, 5表参照)。

#### (1) フローカップ法

塗料およびその関連製品の流動性評価を行う



写真-58 フローカップの例 (ISO Cup)



写真-59 スタンド付保温ジャケット

第5表 粘度の目安の例

試料名	粘度の目安 (mPa・s)
エンジンオイル (SAE10)	65
オリーブオイル	84
潤滑油	50~1,000
インク	550~2,200
はちみつ	10,000
練り歯磨き	100,000

規格の中で、粘度調整に使用される流下時間の測定方法を規定している。フローカップ法は塗料の性状としては、「希釈した比較的低粘度の塗料」に適用され、特に「フローカップのオリフィスからの流れの破断点が明確に決定できる試料だけ」に限定されている。また、「この破断点は100秒を超える流下時間の材料については流下速度が減速するために判定が難しく再現しにくい」と注釈が加えられている。使用するフローカップ(粘度カップ)の例を写真-58に示す。

カップ流出口は一般にステンレスで、カップ本体は塗料・試料により影響を受けない材質が求められる。

JIS では、温度管理のためのケースを備えたフローカップを推奨している。温度を一定に保つためのケース(ジャケット)を写真-59に例示する。

最初の測定値と2回目の測定値の間に10%以上の差がある場合は非ニュートン流体と判断され、本フローカップ法での管理には不向きとなるので注意が必要だ。

① フローカップの選定

滴下時間が20~100秒(望ましいのは30~100秒)になるようにフローカップを選定する。

② 温度を保つ

ろ過した試料(塗料など)とカップを23°C ± 0.5°C に保つ。

なお、測定時の温度変化は0.5°C を超えてはいけない。

また、便宜的にはたとえば25 ± 0.5°C と定めるなどして協定温度で試験することも可能である。

③ フローカップをスタンドに固定しスタンドを水平にする(スタンドの例を写真-60に示す)

水準器などで確認しながら、スタンドのレベル調整を行い、カップのリム(第60図参照)が水平になるようにする。



写真-60 水準器付スタンド(三脚)

④ フローカップに塗料を入れる

カップのオリフィスを指で押さえながら、泡が立たないように塗料を静かに注ぐ。表面張力で塗料が十分に盛り上がるか、リムにわずかに流れ出す程度まで注ぐ。

⑤ ガラス板で塗料を平らにする

ガラス板をリムに沿って動かし(すり切りをするようにして)、塗料の上面とリムの上面を同じ高さにする。

⑥ フローカップの下に容器を置く

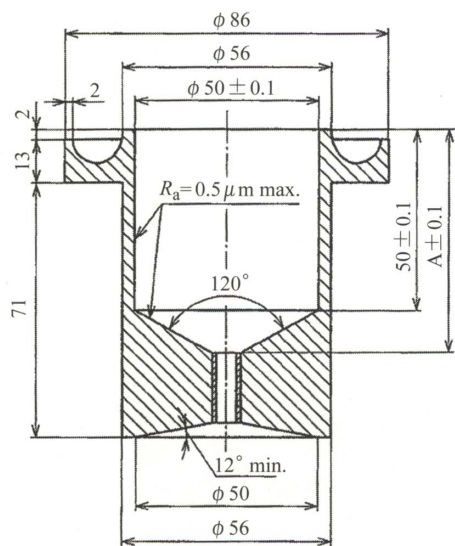
オリフィスと受け容器に受けた塗料の液面との距離が100mm以下にならないように高さを調整する。

⑦ ストップウォッチで滴下時間の計測をする

指をオリフィスから離すと同時に計測を開始し、オリフィス近くで最初に塗料が途切れた瞬間にストップウォッチを止め、滴下時間を0.5秒単位で読み取り記録する。

⑧ 繰り返し精度の確認

2回目の測定を行い、その平均を計算する。  
1回目と2回目の測定値の間に5%以上の差がある場合には3回目の測定を行い、前2回のうち3回目と5%以上差があるほうを捨て、残した2つの測定値で平均値を計算する。もし3回目もこの基準に合わない場合には、流下時間による管理は適切ではない試料となる。



第60図 リム(例: ISO Cup)



フローカップは校正液により1年に1回の校正試験を行うことが一般的には推奨される。校正試験を行う際には、校正液の準備のみならず、JIS/ISOに記載されているように、塗料などの試料とカップを23°C±0.5°Cに保つためのケース(ジャケット)とそのケースを一定温度に保つための恒温循環装置などが必要となる。

なお、フローカップの材質であるが、世界的に知られている Sheen ブランド (Industrial Physics 社のブランドの1つ) を例にその変遷を見ると、以前はオールステンレス製が主流であったが、その後陽極酸化皮膜を施したアルミ製カップ本体にステンレス製ノズルを組み合わせた素材のカップが併売されるようになり、現在は内部の加工精度(特に加工の滑らかさ)と軽さを重視して組み合わせ素材のタイプが主流になっている。たしかに、ステンレスは意外に洗浄時にキズがつきやすい素材であるので、陽極酸化皮膜(アルマイトと呼ばれ主成分はアルミナで、硬さは一般に Hv400~600、耐食性にも優れる。ステンレスの硬さは Hv180~190)のほうがフローカップには適しているのかもしれない。

また、カップ内部やオリフィス内部に試料が残ったまま固まると、容積の変化や詰まりが生じ正確な試験が困難となってしまうため、試験後には必ずカップの洗浄を実施することが重要となる。



写真-61 実機の様子 (Multi Spindle 粘度計)

## (2) 回転式デジタル粘度計

一般には、ストーマー粘度計法で示される回転式粘度計では、ブルックフィールド式粘度計とクレブス・ストーマー式粘度計がなじみが深いようなので、この2つを例に使い方を説明する。

### ① ブルックフィールド式粘度計

正確には「ブルックフィールド式」と言う規定はなく、本来はブランド名であったブルックフィールドが広く知られるようになったものである、この方式の回転式粘度計を通称として「ブルックフィールド方式」や「ブルックフィールドに適合」と記しているようである。

適合規格としては、ISO 2555, ISO 2884-2 あるいは ASTM D 1084-B, ASTM D 2196 などとなる。測定粘度の単位は mPa・s となる。測定は、分析するサンプルに(ディスクまたは円柱形の)スピンドルを沈めて、流体の中で一定の速度で回転するのに必要なトルクを測定するという方法により行われる。

Sheen ブランドの「Multi Spindle 粘度計」を例に実機を見てみたい(写真-61 参照)。ブルックフィールド式の進化型であるこの回転式粘度計には、タッチスクリーンが採用されており、素早く、正確に、簡便に粘度を測定することができるようになっている。選択が可能なスピンドルと速度の組み合わせにより、幅広い粘度に対応し、塗料、コーティング剤、化粧品、インク、パルプ、食品、オイル、スターチ、溶



写真-62 クレブス・ストーマー粘度計の実機例

剤系接着剤，ラテックスなど，粘度測定を必要とするさまざまな流体に適用されている。

## ② クレブス・ストーマー粘度計

正式名称はクレブス・ストーマー粘度計と言い，JIS K5600-2-2に記載されているストーマー粘度計法はこの原型をもとに基本原理を示している。内径φ85～86mmの缶に試料を入れ，その中に回転翼を沈め，100回転するのに要した秒数からKU値（クレブス単位）を求めるものである。従来はおもりの調整やストップウォッチでの時間計測が必要であったが，現在の粘度計の主流はそれらの作業を必要としないデジタル方式に変わっている。この方式の回転粘度計は塗料やコーティング剤によく用いられている。準拠規格としては，JIS/ISOの他にASTM D562-01，ASTM D856，ASTM D1131などとなる。測定粘度の単位はKUである。

Sheenブランドのデジタル・クレブス粘度計を例に実機を見てみたい（写真－62参照）。従来のクレブス粘度計を基にしたものであるが，デジタルモーター制御による自動操作で，KU，mPa・s(cP)またはg(グラム)で測定値を表示するようになっている。

## 33. 主なフローカップ（粘度カップ）の例

### (1) ISO 粘度カップ

ISO 2431 (Viscosity)，JIS K5600-2-2(粘度)に規定されたフローカップである。フローカップは，オリフィス径により3mmカップ，4mmカップ，5mmカップ，6mmカップが規定されている。これに先ほどのSheenブランドでは，規格準用品として8mmカップを加えてラインアップ化している（第6表参照）。

第6表 ISOカップのラインアップ例

No.	出口径 Orifice (φ mm)	粘度範囲* Viscosity (cSt)	滴下時間* Flow time (sec/秒)
3	3	7～42	30～100
4	4	34～135	30～100
5	5	91～326	30～100
6	6	188～684	30～100
8	8	600～2,000	30～100

※ 25℃時

ラインアップには，写真－63のようにISO/JIS規格のようにスタンドと一緒に使うことを前提としたスタンド併用タイプと，現場作業性を重視した写真－64のハンドル付（塗料／試料中にカップごと浸けて塗料／試料から引き上げる際に滴下時間を測定する）のディップタイプとがある。

### (2) DIN / デインカップ

DIN 53211 (DINはドイツ規格協会/Deutsches Institut für Normungが制定した工業規格)に規定されたフローカップで，日本でも用いられることが多い。基本はオリフィス径φ4mmのNo.4のみであるが，Sheenブランドではニーズの高いオリフィス径φ2mm，φ3mm，φ6mm，φ8mmのものを加えてラインアップ化している（第7表参照）。

ラインアップには，写真－65のようにスタンドと一緒に使うことを前提としたスタンド併用タイプと現場作業性を重視した写真－66のハンドル付（塗料／試料中にカップごと浸けて塗料／試料から引き上げる際に滴下時間を測定する）のディップタイプとがある。



写真－63 ISO Cup の例 (スタンド併用タイプ)



写真－64 ISO Cup の例 (ディップタイプ)

第7表 Din カップのラインアップ例

No.	出口径 Orifice (φ mm)	粘度範囲* Viscosity (cSt)	滴下時間* Flow time (sec/秒)
2	2mm	—	
3	3mm	—	
4	4mm	96～683	25～150
6	6mm	—	
8	8mm	—	

※ 25°C 時



写真-65 DIN Cup の例(スタンド併用タイプ)

第8表 Ford カップのラインアップ例

No.	出口径 Orifice (φ mm)	粘度範囲* Viscosity (cSt)	滴下時間* Flow time (sec/秒)
2	2.53	25～120	240～100
3	3.4	49～220	30～100
4	4.1	70～370	30～100
5	5.2	200～1,200	30～100

※ 25°C 時



写真-67 Ford Cup の例(スタンド併用タイプ)



写真-66 DIN Cup の例(ディップタイプ)



写真-68 Ford Cup の例(ディップタイプ)

### (3) FORD / フォードカップ

ASTM D1200 (米国の非営利の国際標準化・規格設定機関である ASTM インターナショナル / ASTM International が設定・発行している工業規格) に規定されているフローカップで、オリフィス径 φ 2.53 mm の No.2, φ 3.4 mm の No.3, φ 4.1 mm の No.4, φ 5.2 mm の No.5 がある(第8表参照)。

ラインアップには、写真-67 のようにスタンドと一緒に使うことを前提としたスタンド併用タイプと現場作業性を重視した写真-68 の

ハンドル付(塗料/試料中にカップごと浸けて塗料/試料から引き上げる際に滴下時間を測定する)のディップタイプとがある。

### (4) Zahn / ザーンカップ

ASTM D1084, D4212 に規定されたステンレス製のディップ専用のハンドル付フローカップは日本でのなじみのものである。Sheen ブランドでは、オリフィス径 φ 2 mm の No.1, φ 2.7 mm の No.2, φ 3.8 mm の No.3, φ 4.3 mm の No.4, φ 5.3 mm の No.5 がラインアップ化されている(第9表参照)。



第9表 Zahnカップのラインアップ例

No.	出口径 Orifice (φ mm)	粘度範囲* Viscosity (cSt)	滴下時間* Flow time (sec/秒)
1	2.0	Max.60	35～80
2	2.7	20～250	20～80
3	3.8	100～800	20～80
4	4.3	200～1,200	20～80
5	5.3	400～1,800	20～80

※ 25°C 時



写真-69 Zahn Cup の例

製品例を写真-69に示す。

なお、塗料化学者の Henry Alfred Gardner, Sr. 博士とその息子 Paul Norris Gardner が協力して研究所を設立したことを起源に持ち、Zahnカップの原型を開発した米国 Gardco (Paul N. Gardner Company, Inc) 社は、ASTM 規格に基づいて製作しているものの、許容精度はずっと厳しくした高精度(精度3%)のZahnカップもラインアップ化している。

#### (5) Afnor / アフノールカップ

フランス規格協会 (AFNOR) が NF T030-014 に規定したフローカップである。日本では高粘度の塗料の試験に用いられることが多い(第10表参照)。

製品例を写真-70に示す。なお、ハンドル付のディップタイプはラインアップ化されていない。

### 34. その他の主な回転式デジタル粘度計の例

ここでは、Sheen ブランドを例に、その他の最新の回転式デジタル粘度計のラインアップを

第10表 Afnorカップのラインアップ例

No.	出口径 Orifice (φ mm)	粘度範囲* Viscosity (cSt)	滴下時間* Flow time (sec/秒)
2.5	2.5	5～140	25～150 (推奨30～100)
6	6.0	510～1,100	
8	8.0	700～11,500	

※ 25°C 時



写真-71 ロトシンナー回転式粘度計の実機例

見てみたい。

#### (1) RotoThinner / ロトシンナー回転式粘度計

低粘度の試料において高い精度が得られる粘度計である(写真-71参照)。

円盤状のプレートスピンドル1種とボールス

ピンドル2種が用意されている。これにより、3つの測定範囲をカバーしている。

プレートスピンドル：測定範囲 0～22P / ポアズ (0～2,200cP)

ボールスピンドル(大)：測定範囲 0.1～75P / ポアズ (10～7,500cP)

ボールスピンドル(小)：測定範囲 0～350P / ポアズ (100～35,000cP)

操作方法は、ブリキ容器に試料を入れ、それをベースにあるマグネットリングで固定する。ハンドルを下げると、スピンドルが試料液に浸される。ハンドルが最下点に達すると、スピンドルは設定された一定速度で回転を始め、ディスプレイに測定粘度が poise / ポアズで表示される。

### (2) Gel Strength Tester / ゲル強度テスター

高粘度の塗料やパテ材などの降伏強度と粘度を評価するために特に適した測定器である(写真-72参照)。

操作方法は、試料の入った 250mL の缶を、ゲル強度テスターのターンテーブルにマグネットで固定する。このターンテーブルには、0～450gm/cm の目盛りが刻まれた校正用バネが取り付けられている。試料に浸すと、平らな板(標準のブレード D は 20×40mm、41.4N の力を加える)を持つパドルスピンドルが 0.5～5.0rpm の設定速度で自動的に回転する。パドルスピンドルは、缶全体とターンテーブルを動

かす。ゲル強度テスターの目盛りは、ピーク値を示した後、短時間で安定し、安定したトルク値が表示される。

なお、パドルの形状を変更することで、より幅広い粘度の試料を試験することができる。

### (3) Cone and Plate Viscometer / コーン・プレート粘度計

JIS K5600-2-3/ISO 2884-1 にも規定されている塗料などの試料をずり速度で測定するもので、「この方法は、製品がニュートン流体の性質を示すか、示さないかに関わらず、すべての塗料、ワニスに適用できる」と記されている。粘度計本体は、一定回転数で回転するコーンと、そのコーンの頂点が接する温度制御されたプレートで構成され、トルクが測定されるようになっている。塗料などの試料はプレートとコーンとの間の狭いすき間に満たされて測定される。

Sheen ブランドの「Cone and Plate Viscometer」を例に実機を見てみたい(写真-73参照)。この粘度計はマイクロプロセッサ制御により、素早く正確に測定することができる。非ニュートン流体は、加えるせん断速度に対して異なる粘度を示すため、コーン&プレート式粘度計は、10,000S-1(ISO 要件)または 12,000S-1(ASTM 要件)に厳密に制御されるようになっている。粘度測定は温度の影響を受けやすいため、試料は 5°C から 65°C に設定でき



写真-72 ゲル強度テスターの実機例



写真-73 コーン・プレート粘度計の実機例



る温度制御プレートに置かれる。

粘度は温度に対する依存が大変大きいため、測定にあたっては温度管理に十分に注意したい。ニュートン流体と非ニュートン流体では適用できる測定法が異なるので、どちらであるかの見極めが重要になる。非ニュートン流体の場

合には、測定条件を精緻に統一させることが重要であるので、正確な測定条件の記録が必要になる。

また、フローカップは繰り返しの使用等により特性の変化が生じることがよくある。少なくとも1年に1回の校正検査を必ず受けていただきたい。