

高粘度凝集性懸濁液のレオロジー特性

九州大学工学部 専任員 山下 三平  
九州大学工学部 正員 二藤 了  
九州大学工学部 正員 栗谷 新一  
九州大学工学部 正員 棚田 裕也

はじめに 高粘度凝集性懸濁液のレオロジー特性を把握するに際し、底泥の流動と貯留現象、並びに水成化に伴う物質輸送現象を解明する上が必要である。現在、レオロジー特性を明らかにする為に、回転粘度計、せん断管粘度計、その他特殊装置を用いて測定が検討されている。研究の進展に伴い、装置手法、流体伝達方式、懸濁液と、容器壁面とのスリップ現象等の装置特性が問題となる。既述の通り、本実験では、これらの装置特性の検討に付いて、せん断管粘度計を用いた。以下、高粘度凝集性懸濁液のレオロジー特性値が、高粘度とより、どのような状態にあるかを明らかにする目的である。

2. 実験装置と手法 図-1に同心円筒回転粘度計の概略図を示す。試験液は容器の側壁に、外筒(タリウムパイプ、内径 $129.4\text{ mm}$ )と内筒(チルリ管、外径 $98.6\text{ mm}$ )から成り、トルクを中間筒(チルリ管、外径 $111.5\text{ mm}$ 、内径 $112.5\text{ mm}$ )により検出する。またトルク検出筒と外筒間の断面形状の寸法を、試験レオロジー特性値による二次構造に与える影響を検討する為に、通常の二重円筒型と異なる装置と比較した。二重円筒型(内径 $98.6\text{ mm}$ 、外径 $129.4\text{ mm}$ )とトルクを検出した。(以下前者を三重型、後者を二重型と呼ぶ)また外筒は三層型と同一径とした。

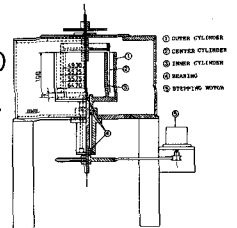


図-1 実験装置

表-1 試験特性、装置と制御方式

三層型の断面形状は $8.95\text{ mm}$ 、二層型のそれは、 $19.0\text{ mm}$ である。円筒部以外のシステムは共通である。トルクは修正した粘度モニターと検出角より求めた。制御はマイコンによりトルクを一定に保ち行った。駆動にはステッピングモーターを使用し、トルク検出筒の位置設定には光センサーを用いた。実験手順は次のとおりである。まず試験液を粘度計容器内に注入し、回転を開始する。トルク設定は粘度モニターと所定の検出角に付いて位置センサーをセレクトし、マイコンによってこれを制御する。トルク検出筒をその位置に停止せしめる。装置の位置設定の為に装置周囲には、スリップを考慮し、粘度 $10\text{ mm}^2/\text{s}$ と注入した試験液面におき、目視により角速度と半径(回転中心からの距離)の関係を求めた。結果は外筒の角速度と断面形状から算出した角速度(見かけ角速度)や、せん断(定常状態)に付いて、回転角速度分布の線により微分法と積分法を用いて算出した計算方法の詳細は以下の文献に参照)。実験は恒温室内( $20\pm 0.1^\circ\text{C}$ )で行った。なお実験の試験特性、装置、及び制御方式の一覧を表-1に示す。

| SERIES | MATERIAL            | Ps<br>(t/m <sup>2</sup> ) | L.L.<br>(%) | P.L.<br>(%) | I.L.<br>(%) | d <sub>50</sub><br>(μm) | WATER | CYLINDER TYPE | CONTROL TYPE                 |
|--------|---------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|-------|---------------|------------------------------|
| I      | KAOLIN              | 2.60                      | 51.1        | 38.5        | 2.3         | 5.5                     | Fresh | Triple axial  | Torque                       |
| II     |                     |                           |             |             |             |                         | Salt  | Triple axial  | Torque                       |
| III    | KAOLIN<br>(ASP-600) | 2.66                      | 65          | 36          | 1.8         | 0.64                    | Salt  | Triple axial  | Apparent<br>deformation rate |
| IV     |                     |                           |             |             |             |                         | Salt  | Co-axial      | Torque                       |
| V      | CHIKUGO MUD         | 2.52                      | 99          | 41          | 12          | 5.3                     | Salt  | Triple axial  | Torque                       |

3. 実験結果と考察 図-2に速度分布の一例を示す。この図の左端が中間筒外壁に、右端が外筒内壁に接する粒子の動きである。左端に付いて角速度がゼロになるのは中間筒近くのスリップ特性に起因する。また右端は角速度と半径の関係を減小して、角速度がゼロになるのはせん断角がゼロになるためである。図-3に図-4は同一試験液(カオリン ASP-600)の二層型と三層型とを比較した。前者は三層型、後者は二層型を用いて得られた流動曲線である。二層型と三層型のせん断角が異なるのは、せん断角による二次構造に与える影響を検討する為に、せん断角と高粘度とを一致させる為に、二層型のせん断角を、三層型のせん断角に合わせることにした。これにより、二層型と三層型のせん断角が一致したことが確認された。

4. 結論 高粘度凝集性懸濁液のレオロジー特性を把握するに際し、底泥の流動と貯留現象、並びに水成化に伴う物質輸送現象を解明する上が必要である。現在、レオロジー特性を明らかにする為に、回転粘度計、せん断管粘度計、その他特殊装置を用いて測定が検討されている。研究の進展に伴い、装置手法、流体伝達方式、懸濁液と、容器壁面とのスリップ現象等の装置特性が問題となる。既述の通り、本実験では、これらの装置特性の検討に付いて、せん断管粘度計を用いた。以下、高粘度凝集性懸濁液のレオロジー特性値が、高粘度とより、どのような状態にあるかを明らかにする目的である。

| RADIUS (mm) | RAOLIN WC-3725 (S⁻¹ × 10⁻¹) | CEMER ST-1555 (S⁻¹ × 10⁻¹) [Squares] | CEMER ST-1555 (S⁻¹ × 10⁻¹) [Triangles] | CEMER ST-1555 (S⁻¹ × 10⁻¹) [Circles] |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| 57          | 4.5                         | 1.5                                  | 1.0                                    | 1.0                                  |
| 58          | 5.5                         | 2.0                                  | 1.2                                    | 1.0                                  |
| 59          | 6.5                         | 2.5                                  | 1.5                                    | 1.0                                  |
| 60          | 7.0                         | 2.8                                  | 1.8                                    | 1.0                                  |
| 61          | 7.5                         | 3.0                                  | 2.0                                    | 1.0                                  |
| 62          | 8.0                         | 3.2                                  | 2.2                                    | 1.0                                  |
| 63          | 8.2                         | 3.4                                  | 2.4                                    | 1.0                                  |
| 64          | 8.5                         | 3.5                                  | 2.5                                    | 1.0                                  |

| METHOD       | WATER CONTENT |
|--------------|---------------|
| DIFFERENTIAL | 21.7 %        |
| INTEGRAL     | 24.7          |
|              | 27.4          |
|              | 34.6          |

Figure 1 is a line graph titled "SERIES IV DIFFER METHOD". The y-axis is labeled "SHEAR STRESS (N/cm²)" and ranges from 0 to 10. The x-axis is labeled "SUBSTANTIAL DEFORMATION RATE (S⁻¹)" and ranges from 0 to 0.3. There are three data series plotted, each with a different symbol and a corresponding curve:

- WC-25%:** Represented by open circles, this curve starts at approximately (0.01, 2.5) and rises steeply to about (0.05, 9.5), then continues to rise more gradually to about (0.25, 10.5).
- WC-20%:** Represented by open squares, this curve starts at approximately (0.01, 1.5) and rises to about (0.05, 4.5), then continues to rise more gradually to about (0.25, 6.5).
- WC-3.45%:** Represented by open triangles, this curve starts at approximately (0.01, 0.5) and rises very gradually to about (0.25, 1.5).

The graph shows that shear stress increases with both deformation rate and weight percentage of WC. The curves for higher WC content are shifted upwards and to the left of the curves for lower WC content.

Figure 1 is a line graph titled "SERIES V DIFFER. METHOD". The y-axis is labeled "SHEAR STRESS (N/mm²)" and ranges from 0 to 4. The x-axis is labeled "SUBSTANTIAL DEFORMATION RATE (S⁻¹)" and ranges from 0 to 1.5. There are three curves representing different water contents (W.C.):

- W.C. 34.5%:** This curve starts at approximately (0.1, 2.5) and rises steeply, then levels off, reaching a shear stress of about 3.2 N/mm² at a deformation rate of 1.0 S⁻¹.
- W.C. 42.3%:** This curve starts at approximately (0.1, 1.2) and rises to a shear stress of about 1.8 N/mm² at a deformation rate of 0.5 S⁻¹, then levels off.
- W.C. 46.3%:** This curve starts at approximately (0.1, 0.8) and rises to a shear stress of about 1.5 N/mm² at a deformation rate of 0.5 S⁻¹, then levels off.

The graph demonstrates that for a given deformation rate, shear stress decreases as water content increases. Additionally, for each water content, shear stress increases with the deformation rate until it reaches a plateau.

4. おわりに、今後の問題としてここでは述べた限定的な、考えを述べ議論に代わらず阻害抑求に利用する際、その価値はどの阻害抑求力の値に比べて有り大なり、また考えを述べ議論は、産業の自由と価値（産業と都市）を有するものに於いて、どのように使用した装置で、剪断線と見なしているか、その間の経緯はどのようにして研究を要する。その研究は、都市の科学的な研究の発展に役立つものである。

Figure 1 is a log-log plot showing the relationship between Yield Stress ( $N/mm^2$ ) on the y-axis and Water Content (%) on the x-axis for five different soil series. The y-axis ranges from 10 to 100, and the x-axis ranges from 10 to 100. The data points for Series I, II, III, IV, and V are plotted with different symbols. A legend table is provided below the plot.

| SERIES | $\gamma_n$ | $\gamma_{20}$ |
|--------|------------|---------------|
| I      | ○          | ●             |
| II     | △          | ▲             |
| III    | □          | ■             |
| IV     | ◇          | ◆             |
| V      | ▽          | ▼             |

Legend symbols: CHTSUBSO, CHTSUBSO, CHTSUBSO, CHTSUBSO, CHTSUBSO.

Figure 1 is a log-log plot showing the relationship between Melting Point (°C) and Plastic Viscosity (Pa.s) for various polymers. The y-axis represents Melting Point (°C) on a logarithmic scale from  $10^1$  to  $10^3$ . The x-axis represents Plastic Viscosity (Pa.s) on a logarithmic scale from  $10^1$  to  $10^3$ . The plot includes data points for five series: I (filled circles), II (open circles), III (filled triangles), IV (open triangles), and CHLORIDE (filled squares). A legend box in the bottom right corner identifies these series. The data points generally show a positive correlation between melting point and plastic viscosity, with some scatter observed at lower viscosity values.

图-7 正相化、水乳在塑性粘度与含水比之关系