

# 粘土の可塑性の評価

山崎 達夫      光松 正人      榊原 満

Estimation for Clay Plasticity

by

Tatsuo YAMAZAKI, Masato MITSUMATSU and Mitsuru SAKAKIBARA

地元で使用している粘土質原料及び未利用原料について、鉱物組成、粒度分布、化学組成、押出成形体の乾燥性状、焼成性状について調べた。また、原料の可塑性を測定する方法として混練トルクによる方法を採用し、原料の可塑性の評価を行い、可塑性と原料の物理的、化学的性質との関係について検討した。混練トルクは含水率に伴い変化する。含水率が少ないところでは混練トルクも小さく、含水率が増えるにつれて混練トルクも大きくなり、ある含水率を越えると混練トルクは減少するというパターンを示した。

最大混練トルクの大きな原料は塑性指数も大きく成形性も良好であった。また、乾燥曲げ強さが大きな原料は最大混練トルクも大きく成形性も良好であった。最大混練トルクが  $100 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  以上なければ押出成形が不可能であることがわかった。

## 1. まえがき

最近、常滑の押出成形品の原料は地元以外の原料に頼っており、移入原料が中心である。これらの新しい原料の物理的・化学的性質について調べることが望まれている。また、押出成形能と関係の深い原料粘土の可塑性を迅速に調べることは、製造工程上重要なことである。

本研究では、現行の粘土質原料あるいは未利用原料の性質及び可塑性を測定し、可塑性の評価を行い、未利用原料の有効利用及び可塑性原料の確保を図った。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用原料

原料として下に示すものを使用した。

蛙目粘土、三和水ヒ粘土、日豊粘土、東山木節粘土、水野白粘土、土岐津ト号土、土岐津ホ号土、服部A粘土、服部B粘土、赤松粘土、根本粘土、

三河粘土、瓦配合土、桑名青粘土、桑名赤粘土、栗東青粘土、U-陶石等である。

### 2.2 原料の物理的・化学的性質

収集した原料について鉱物組成はX線回折法、粒度分布はレーザー回折法及びふるい分け法、化学組成は原子吸光法及び蛍光X線分析法により測定した。

真空押出機により原料を成形し、乾燥した後、 $1050, 1100, 1150, 1200, 1250^\circ\text{C}$ の5段階で最高温度1時間保持で焼成し、吸水率、かさ比重、曲げ強さ等について測定した。

### 2.3 原料の可塑性の評価

可塑性は成形を支配する極めて重要な性質であり、成形方法によりチェックポイントを異にしている。その結果としていろいろな試験方法が考え出されているが、本研究では官能的でないこと、短い時間で出来ること、理由から、混練トルク法（プラストグラフ法）を可塑性を測定する方法として採用した。

この方法は小型混練機に試料を投入し、混練す

表1 化 学 組 成

(wt%)

| 原 料       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | lg.loss |
|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|---------|
| 蛙 目 粘 土   | 63.0             | 25.5                           | 0.86                           | 0.56             | 0.10 | 0.42 | 0.20              | 2.19             | 7.21    |
| 三和水ヒ粘土    | 77.1             | 14.2                           | 0.55                           | 0.41             | 0.09 | 0.11 | 0.47              | 3.09             | 3.95    |
| 日 豊 粘 土   | 79.6             | 13.4                           | 0.71                           | 0.60             | 0.10 | 0.18 | 0.18              | 0.83             | 5.11    |
| 東山木節粘土    | 67.4             | 19.9                           | 1.14                           | 0.94             | 0.16 | 0.66 | 0.64              | 1.90             | 7.43    |
| 水野白粘土     | 74.8             | 16.0                           | 0.81                           | 0.69             | 0.19 | 0.30 | 0.28              | 0.87             | 6.49    |
| 土岐津ト号土    | 74.4             | 15.1                           | 1.21                           | 0.91             | 0.19 | 0.41 | 0.19              | 1.24             | 6.34    |
| 土岐津ホ号土    | 61.6             | 21.7                           | 3.51                           | 1.09             | 0.36 | 0.97 | 0.09              | 2.50             | 7.91    |
| 服部A粘土     | 62.6             | 20.9                           | 3.34                           | 1.01             | 0.37 | 0.78 | 1.06              | 2.05             | 8.11    |
| 服部B粘土     | 81.5             | 10.2                           | 0.83                           | 0.66             | 0.13 | 0.25 | 0.67              | 1.45             | 4.57    |
| 赤 松 粘 土   | 63.3             | 22.0                           | 2.24                           | 1.02             | 0.37 | 1.07 | 0.13              | 1.98             | 7.85    |
| 根 本 粘 土   | 67.6             | 17.6                           | 3.80                           | 0.92             | 0.09 | 0.90 | 0.35              | 2.69             | 6.19    |
| 三 河 粘 土   | 65.7             | 18.6                           | 4.23                           | 0.68             | 0.64 | 0.73 | 0.87              | 2.24             | 6.40    |
| 瓦 配 合 土   | 68.0             | 18.3                           | 3.26                           | 0.71             | 0.44 | 0.70 | 0.73              | 2.20             | 6.19    |
| 桑 名 青 粘 土 | 67.3             | 15.1                           | 4.80                           | 0.67             | 0.95 | 1.66 | 2.02              | 2.82             | 4.68    |
| 桑 名 赤 粘 土 | 63.2             | 18.9                           | 5.15                           | 0.67             | 0.95 | 0.87 | 1.97              | 2.67             | 6.05    |
| 栗 東 青 粘 土 | 61.8             | 17.9                           | 6.67                           | 0.90             | 0.53 | 1.62 | 1.17              | 2.46             | 6.26    |
| U - 陶 石   | 85.8             | 11.6                           | 0.11                           | 0.09             | 0.11 | 0.00 | 0.07              | 1.28             | 1.27    |

表2 鉱 物 組 成

| 原 料       | 石 英 | 長 石 | カオリナイト<br>鉱 物 | 雲 母 | クロライト | モンモリロ<br>ナイト |
|-----------|-----|-----|---------------|-----|-------|--------------|
| 蛙 目 粘 土   | ++  | +   | ++            | +   |       |              |
| 三和水ヒ粘土    | ++  | +   | ++            | ±   |       |              |
| 日 豊 粘 土   | ++  | ±   | ++            | +   |       |              |
| 東山木節粘土    | ++  |     | +             |     |       |              |
| 水野白粘土     | ++  | +   | +             | +   |       |              |
| 土岐津ト号土    | ++  | ±   | ++            | +   | +     |              |
| 土岐津ホ号土    | ++  |     | +             | +   |       | ±            |
| 服部A粘土     | ++  |     | +             | ±   |       |              |
| 服部B粘土     | ++  | ±   | +             | ±   |       |              |
| 赤 松 粘 土   | ++  |     | ++            | +   |       |              |
| 根 本 粘 土   | ++  |     | ++            | +   |       |              |
| 三 河 粘 土   | ++  | +   | +             | +   | +     |              |
| 瓦 配 合 土   | ++  | +   | +             | +   |       |              |
| 桑 名 青 粘 土 | ++  | ++  | +             | +   | +     |              |
| 桑 名 赤 粘 土 | ++  | ++  | +             | +   |       |              |
| 栗 東 青 粘 土 | ++  | ++  | +             | +   |       | +            |
| U - 陶 石   | ++  |     | +             | +   |       |              |

++ 多い ++ 普通 + 少ない ± 非常に少ない

表3 粒度分布 (%)

| 原 料       | 0~5 $\mu$ m | 5~44 $\mu$ m | 44~ $\mu$ m |
|-----------|-------------|--------------|-------------|
| 蛙 目 粘 土   | 60.0        | 40.0         | 0           |
| 三和水ヒ粘土    | 15.0        | 77.0         | 8.0         |
| 日 豊 粘 土   | 32.0        | 52.0         | 16.0        |
| 東山木節粘土    | 46.0        | 46.0         | 8.0         |
| 水 野 白 粘 土 | 28.0        | 61.0         | 11.0        |
| 土岐津ト号土    | 51.0        | 41.0         | 8.0         |
| 土岐津ホ号土    | 58.0        | 40.0         | 2.0         |
| 服 部 A 粘 土 | 70.0        | 24.6         | 5.4         |
| 服 部 B 粘 土 | 38.0        | 42.0         | 20.0        |
| 赤 松 粘 土   | 83.0        | 16.0         | 1.0         |
| 根 本 粘 土   | 41.0        | 26.0         | 33.0        |
| 三 河 粘 土   | 34.0        | 22.0         | 24.0        |
| 瓦 配 合 土   | 36.0        | 38.0         | 26.0        |
| 桑 名 青 粘 土 | 30.0        | 53.0         | 17.0        |
| 桑 名 赤 粘 土 | 22.0        | 56.0         | 22.0        |
| 栗 東 青 粘 土 | 64.0        | 25.0         | 11.0        |
| U - 陶 石   | 36.0        | 59.0         | 5.0         |

ときの抵抗値（トルク）を測定し、トルクカーブにより可塑性を求めるやり方である。

カム型ブレードについても検討したが、混練が不十分な場合があったので、ブレードはローラーミキサーを使用した。

#### 試験条件

回転数 20 rpm      試料量 70 g

使用ブレード      ローラーミキサー

水の添加速度 0.3 g/min

温度 室温

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 原料の性質

##### 3.1.1 化学組成

化学組成を表1に示す。SiO<sub>2</sub>量は61.6~85.8%で、多い原料はU-陶石、三和水ヒ粘土、日豊粘土である。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>量は10.2~25.5%であり、多く含んでいる原料は蛙目粘土、赤松粘土等がある。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は0.55~6.67%であり、多く含有する原料は桑名青、桑名赤、栗東青粘土がある。Na<sub>2</sub>Oは0.

表4 吸 水 率 (%)

| 原 料         | 焼成温度 (°C) |      |      |      |      |
|-------------|-----------|------|------|------|------|
|             | 1050      | 1100 | 1150 | 1200 | 1250 |
| 蛙 目 粘 土     | —         | 17.5 | 12.5 | 8.0  | 2.2  |
| 日 豊 粘 土     | 16.9      | 16.1 | 15.3 | 15.2 | 13.3 |
| 東 山 木 節 粘 土 | 12.7      | 9.6  | 6.6  | 1.1  | 0.4  |
| 水 野 白 粘 土   | —         | 13.3 | 10.7 | 5.7  | 0.9  |
| 土 岐 津 ト 号 土 | 13.2      | 10.4 | 8.2  | 3.3  | 0.1  |
| 土 岐 津 ホ 号 土 | 10.2      | 6.0  | 2.5  | 0.9  | 0.6  |
| 服 部 A 粘 土   | 11.3      | 8.0  | 4.6  | 1.3  | 1.2  |
| 服 部 B 粘 土   | —         | 15.3 | 13.3 | 9.1  | 1.6  |
| 赤 松 粘 土     | 10.9      | 6.3  | 1.6  | 0.3  | —    |
| 根 本 粘 土     | 10.9      | 6.1  | 1.6  | 0.1  | 1.7  |
| 三 河 粘 土     | 11.7      | 10.1 | 8.5  | 5.8  | 2.0  |
| 瓦 配 合 土     | —         | 11.2 | 8.4  | 4.6  | 0.8  |
| 桑 名 青 粘 土   | 12.3      | 5.5  | 0.2  | 3.3  | —    |
| 桑 名 赤 粘 土   | 12.9      | 8.1  | 5.9  | 0.7  | 0.26 |
| 栗 東 粘 土     | 4.0       | 0.1  | 0.1  | 1.7  | —    |

09～2.02%であり、多く含有する原料は $\text{Fe}_2\text{O}_3$ と同じで桑名青、桑名赤、栗東青粘土がある。

### 3.1.2 鉱物組成

鉱物組成を表2に示す。主な鉱物は $\alpha$ -石英、カオリナイト鉱物、長石、雲母であり一部の原料にはクロライト、モンモリロナイトが含まれている。長石の多い原料は桑名青、桑名赤、栗東青粘土である。カオリナイト鉱物の多い原料は蛙目粘土、三和水ヒ粘土、日豊粘土などである。

### 3.1.3 粒度分布

粒度分布を表3に示す。44 $\mu\text{m}$ 以下はレーザー回折法により測定したため、アンドレアゼン法の測定値より、粒度が粗に出る傾向にある。

44 $\mu\text{m}$ 以上がほとんどない微粒の原料は蛙目粘土、土岐津ホ号土、赤松粘土などがある。5 $\mu\text{m}$ 以下が少ない原料は三和水ヒ粘土、桑名赤粘土、水野白粘土がある。

### 3.1.4 焼成性状

吸水率を表4に、曲げ強さを表5に示す。最も低温で焼結する原料は栗東青粘土であり、1100 $^{\circ}\text{C}$ で焼結が完了している。低温焼結の原因として、 $\text{Na}_2\text{O}$ 量が多いこと、粒度が細かいこと等が考えられる。試験温度範囲内で焼結しない原料として日豊粘土がある。アルカリ成分の少なさが原因と

して考えられる。

## 3.2 原料の可塑性

### 3.2.1 混練トルクと塑性指数

一般的には塑性指数が大きいものは可塑性があると言われている。塑性指数の違う原料<sup>1)</sup>として、服部砂目木節粘土、小名田オボロ粘土を取り上げた。服部砂目木節粘土はシルト質粘土で、粘土分はカオリナイト質であり可塑性に乏しい。その塑性指数は23である。小名田オボロ粘土は砂目の粘土ではあるが、粘土分がハロサイト質であるため可塑性があり、その塑性指数は29である。

この原料について、混練トルクと水分の関係を示したのが図1である。混練トルクは含水率に伴

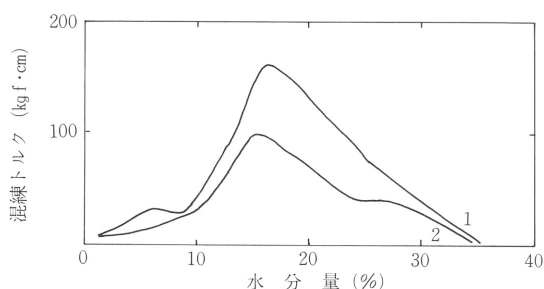


図1 混練トルクと水分量

1. 小名田オボロ粘土  
2. 服部砂目木節粘土

表5 曲 げ 強 さ

( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

| 原 料         |  |  |  | 焼成温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) |      |      |      |      |      |
|-------------|--|--|--|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|             |  |  |  | 乾燥                          | 1050 | 1100 | 1150 | 1200 | 1250 |
| 蛙 目 粘 土     |  |  |  | 16                          | —    | 215  | 356  | 448  | 549  |
| 日 豊 粘 土     |  |  |  | 16                          | 50   | 56   | 61   | 69   | 103  |
| 東 山 木 節 粘 土 |  |  |  | 35                          | 297  | 305  | 342  | 350  | 451  |
| 水 野 白 粘 土   |  |  |  | 24                          | —    | 248  | 335  | 450  | 525  |
| 土 岐 津 ト 号 土 |  |  |  | 31                          | 233  | 304  | 356  | 457  | 838  |
| 土 岐 津 ホ 号 土 |  |  |  | 47                          | 290  | 305  | 469  | 469  | 506  |
| 服 部 A 粘 土   |  |  |  | 32                          | 315  | 427  | 437  | 446  | 536  |
| 服 部 B 粘 土   |  |  |  | 18                          | —    | 144  | 228  | 327  | —    |
| 赤 松 粘 土     |  |  |  | 41                          | 518  | 531  | 802  | 498  | —    |
| 根 本 粘 土     |  |  |  | 35                          | 313  | 442  | 519  | 617  | 393  |
| 三 河 粘 土     |  |  |  | 33                          | 153  | 180  | 204  | 234  | 241  |
| 瓦 配 合 土     |  |  |  | 31                          | —    | 202  | 222  | 274  | 317  |
| 桑 名 青 粘 土   |  |  |  | 26                          | 179  | 319  | 308  | 171  | —    |
| 桑 名 赤 粘 土   |  |  |  | 39                          | 200  | 297  | 324  | 365  | 420  |
| 栗 東 青 粘 土   |  |  |  | 39                          | 448  | 701  | 576  | —    | —    |



い変化する。含水率が少ないところでは混練トルクも小さく、含水率が増えるにつれて混練トルクも大きくなり、ある含水率を越えると混練トルクは減少するというパターンを示している。

小名田オボロ粘土の最大混練トルクは  $150 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  以上あり大きいのに比べて、服部砂目木節粘土の最大混練トルクは  $100 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  以下であり小さい。塑性指数の大きい粘土は最大混練トルクも大きい。逆に塑性指数の小さい粘土は最大混練トルクも小さい。

### 3.2.2 混練トルクと可塑性

代表的な原料の混練トルクと水分の関係を示したのが図2である。

U-陶石は粘土分が少ない原料である。より低水分で混練トルクが急上昇し、水分量の増加と共に混練トルクが上がり、ある水分量で最大混練トルクになり、それ以上になると混練トルクが減少する。なお、このU-陶石は押出成形機では成形不能であった。

ト号土は粘土分も少なく可塑性も若干乏しい。その最大トルクは  $100 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  をこえた値である。

ホ号土はアルミナ分も多く、粘土分に富み可塑性もある。その最大トルクは  $160 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  をこえている。

ここで、一つの目安として混練トルクの最大値が  $150 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  以上か、又は  $100 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  未満であるかによってこれらの原料を分類してみると次の通りである。

150  $\text{kgf} \cdot \text{cm}$  以上である原料

桑名赤粘土、栗東青粘土、三河粘土、蛙目粘土、東山木節粘土、根本粘土、土岐津ホ号土、服部A粘土、赤松粘土、瓦配合土

100～150  $\text{kgf} \cdot \text{cm}$  である原料

桑名青粘土、水野白粘土、日豊粘土、土岐津ト号土

100  $\text{kgf} \cdot \text{cm}$  未満である原料

三和水ヒ粘土、U-陶石

100  $\text{kgf} \cdot \text{cm}$  未満である原料は単味では明らかに押出成形が不可能であった。また、100～150  $\text{kgf} \cdot \text{cm}$  である原料は成形は可能であったが、成形性には乏しい。可塑性原料としては最大混練

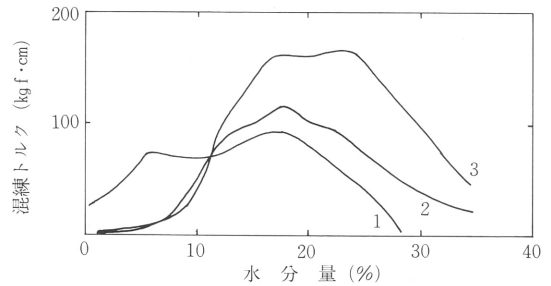


図2 混練トルクと水分量

1. U-陶石 2. 土岐津ト号土

3. 土岐津ホ号土

ルクとして  $150 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  以上必要であることが判明した。

### 3.2.3 混練トルクと諸物性

乾燥曲げ強さが  $30 \text{ kgf/cm}^2$  以上ある原料の最大混練トルクは  $150 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  以上ある。乾燥曲げ強さが大きい原料は混練トルクも大きく、成形性も良好であった。

アルミナ量が16%以下である原料は最大混練トルクが  $150 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  以下である場合が多い。粘土量がほぼアルミナ量に比例することによってと思われる。従って、可塑性がある原料を選択する場合、アルミナ量が16%以上である原料を目安とすれば良い。

一般的に粘土鉱物の量が多ければ可塑性もあるとされている。粘土鉱物はX線回折により同定され、ピークの大きさがほぼ粘土鉱物の量に比例するとされている。表2よりカオリナイト鉱物量の多い原料は蛙目粘土、三和水ヒ粘土、日豊粘土、土岐津ト号土、赤松粘土、根本粘土があげられる。このなかで三和水ヒ粘土、日豊粘土は可塑性に乏しい原料であり、先の原則とは合わない。これは、これらの粘土のカオリナイト鉱物は結晶性に優れているため、少ない量でもX線回折チャートの上では大きいピークになり、見掛け上カオリナイト鉱物量が多くなってしまうことによる。

このように粘土鉱物の量をX線回折の結果だけから判断することは困難である。他のデータとも合わせて検討する必要がある。

モンモリロナイト鉱物を含む原料は土岐津ホ号土、栗東青である。これらの原料は可塑性に富み、最大混練トルクも  $150 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$  以上である。

最大混練トルクと粒度、焼成性状との間には今回の試験では明確な関係は認められなかった。

#### 4. まとめ

地元で使用している粘土質原料及び未利用原料について、鉱物組成、粒度分布、化学組成、押出成形体の乾燥性状、焼成性状について調べた。また、原料の可塑性を測定する方法として混練トルクによる方法を採用し、原料の可塑性の評価を行い、可塑性と原料の物理的、化学的性質との関係について検討した。

- (1) 混練トルク法は可塑性の評価に有効であることが判明した。
- (2) 混練トルクは含水率に伴い変化する。含水率が少ないところでは混練トルクも小さく、含水

率が増えるにつれて混練トルクも大きくなり、ある含水率を越えると混練トルクは減少するというパターンを示した。

- (3) 最大混練トルクの大きな原料は塑性指数も大きく成形性も良好であった。また、乾燥曲げ強さが大きな原料は最大混練トルクも大きく成形性も良好であった。混練トルクとアルミナ量、混練トルクと粘土鉱物の間に関係が有ることが認められた。
- (4) 最大混練トルクが 100 kgf・cm 以上なければ押出成形が不可能であることがわかった。

#### 5. 参考文献

- (1) 窯業原料利用の手引, 1978