

第1章 レオロジーモデルと各種測定方法

1.1 レオロジーとは

レオロジーとは、特定の学問分野を示す言葉であるが、その捉え方としては、大きく分けて以下の2種類がある。

1つは、「物質の流動と変形を取り扱う科学」と定義され、物質の挙動の評価および予測を中心とする分野である。流動を取り扱う点で、流体力学と混同されることもあるが、流体力学が単純な粘性流体のみを対象とするのに比べ、レオロジーでは、弾性・塑性までを含めた非常に広範囲な物性を対象とする。

本書では第4章の流動解析手法における視点が、この立場からのものである。

もう1つは、「新たな物質を作り出すのではなく、既にある物質の物性をモデル化し、評価する学問」と定義され、物性のモデル化とその評価を中心とするものであり、複雑な性質を持つ材料を数多く取り扱う高分子化学等の分野で発展してきた考え方である。

本章と次章の材料性状の評価は、この立場からフレッシュコンクリートを取り扱っている。

しかし、あらゆる分野・研究領域においても、使用する材料性質の評価および把握は技術の基礎となる最も重要な部分といえる。

1.2 レオロジーモデル

材料性質の評価を行う際には、まず材料性質のモデル化を行う必要がある。仮定するモデルによって各種の材料定数の測定方法も異なる。モデルが妥当でなければ正確な物性は把握できず、その材料の変形挙動の評価や予測も困難となる。

本節では、レオロジーモデルの基本要素とその組合せについて概説し、次に、現在フレッシュコンクリートのレオロジーモデルとして用いられることの多いビンガムモデルについて説明する。

1.2.1 レオロジーモデルの基本要素

[1.1-1.3]

図-1.2.1に、レオロジーモデルの3つの基本要素を示す。同図(a)に示す弾性体(スプリング)は、金属材料やゴムなどの固体で観察される変形性状を表し、応力 σ とひずみ ϵ の関係は線形比例する。材料定数は、その比例係数である弾性係数 k のみである。

応力とひずみの関係を式で表したものを構成則と呼び、(a)の弾性体の構成則は以下のようなになる。

$$\sigma = k\epsilon \quad (1.2.1)$$

ここに、 σ : 応力 (Pa)、 k : 弾性係数 (Pa)、 ϵ : ひずみ

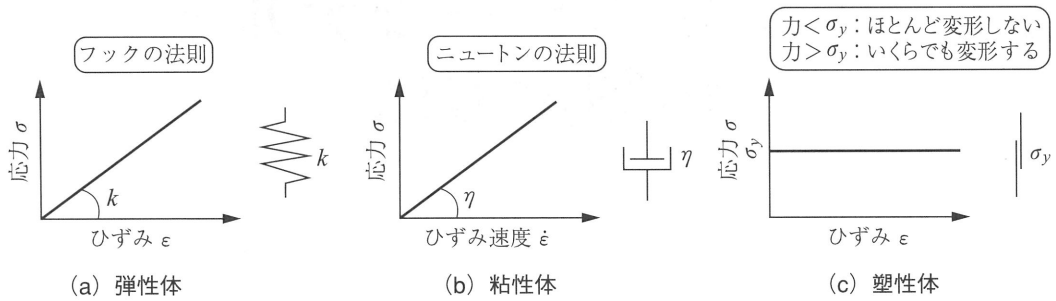


図-1.2.1 レオロジーモデルの基本要素

金属とゴムでは、材質も抵抗のメカニズムも異なるが、力と変形の関係は同じモデルで表現される。ただし、材料定数である弾性係数 k は大きく異なっている。

(b) に示す粘性（ダッシュポット）は、一般的な液体の性質を表し、応力 σ はひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ に比例する。材料定数としては、その比例係数である粘性係数 η のみである。構成則は以下のようなになる。

$$\sigma = \eta \dot{\epsilon} \quad (1.2.2)$$

ここに、 σ : 応力 (Pa)、 η : 粘性係数 (Pa·s)、 $\dot{\epsilon}$: ひずみ速度 (s⁻¹)

(c) に示す塑性（スライダ）は、粘土や金属材料などの降伏条件を表し、応力が降伏応力 σ_y に達するまでは変形せず、降伏後はどこまでも変形し、その変形時の抵抗力は変形速度の影響を受けない。降伏後の構成則は以下のようなになる。

$$\sigma = \sigma_y \quad (1.2.3)$$

ここに、 σ_y : 降伏応力 (Pa)

塑性を持つ材料の中でも、土や砂などの粉粒体には、特に拘束力が働くと降伏応力が変化するという性質がある。これは、変形抵抗

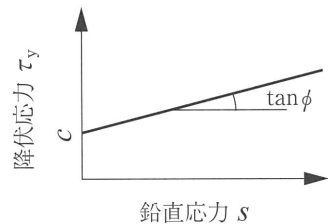


図-1.2.2 モール・クーロンの降伏条件

力に粒子間の摩擦抵抗（内部摩擦という）が大きく影響しているためである。この性質をモデル化したのが、モール・クーロンの降伏条件で、図-1.2.2 および下式のように表される。

$$\tau_y = c + s \tan \phi \quad (1.2.4)$$

ここに、 τ_y : せん断の降伏応力 (Pa)、 c : 粘着力 (Pa)、 s : 鉛直応力 (Pa)、 $\tan \phi$: 内部摩擦係数

固体から液体まで、様々な物質が、これら弾性・粘性・塑性の性質を兼ね備えており、それぞれの性質を表すスプリング、ダッシュポット、スライダを組み合わせることによって、その複雑な力学性質をモデル化できるとされている。このようなモデルをレオロジーモデルと呼ぶ。

一例として、硬化コンクリートのクリープ