

徳島大学 正会員 ○水口 裕之
大塚製鋼 正会員 柴田 幸範
徳島大学 正会員 荒木 謙一

1. まえがき

本報告は、フレッシュコンクリートのワーカビリティをよりの確に把握するための基礎的研究として、フレッシュペーストの流動機構についてミクロレオロジー的見地から考察を行なったものである。

現象となって現われる変形および流動は、その物質の内部構造に起因するものであり、まずフレッシュペーストの内部構造を考察し、それに基づき、一般的観測事実¹⁾を参考としてフレッシュペーストをゴム物体に近い挙動を示すものと仮定した場合のレオロジー量である降伏値および塑性粘度と、熱力学、統計力学およびアイリングの粘性理論の手法を用いて求めた。さらに得られた塑性粘度および降伏値を使用して、フレッシュペーストのレオロジー方程式を提案したものである。

2. フレッシュペーストの内部構造

セメント粒子が水と接触するとたゞに急激な化学反応を起こすが、数分間で反応速度はきわめて低下し、以後しばらくの間この状態。つまり休眠時間(dormant period)が続くといわれている。休眠時間におけるペーストを全体としてみた場合、単一なフロックを形成しており(図-1 参照)、このようなフロックが均一にメカニカルに連続した網目構造を作っているといわれている。²⁾

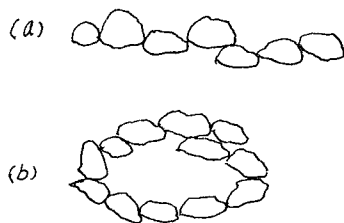


図-1 セメント粒子のフロック状態

3. フレッシュペーストのレオロジー量

1) 降伏値 フレッシュペーストに作用する応力が降伏以下である場合、フレッシュペーストは弾性変形を示し、可逆過程とみなすことができる。いまフレッシュペーストに外力が作用しているものとし、作用方向の変形量を $d\ell$ 、熱量変化を dQ とすると、熱力学の第一および第二法則より、

$$F = \left(\frac{\partial U}{\partial \ell} \right)_T - T \left(\frac{\partial S}{\partial \ell} \right)_T = -a \left(\frac{\partial S}{\partial \ell} \right)_T, \quad a = 1 + \left(\frac{\partial U}{\partial \ell} \right)_T / T \left(\frac{\partial S}{\partial \ell} \right)_T \quad (1)$$

ここに、 U は内部エネルギー、 S はエントロピー、 T は絶対温度である。一方、統計力学の基本式、

$$S = k \log P \quad k: \text{ボルツマン定数}, P: \text{分布関数} \quad (2)$$

によって微視的なエントロピーが与えられるため、粒子の分布関数 P がわかればエントロピー変化が得られ、式(1)によって外力と内部構造の関係が得られることになる。

フレッシュペーストは前述したように図-1に示すようなフロックを形成しており、微視的なエントロピーを考える際の内部構造モデルとして、図-1(a)のようなセメント粒子が一列に連結したフロックを取り上げることをとする。一端を原点とし他端が (x, y, z) の近くの微小体積 $dx dy dz$ にあるような確率 $P(x, y, z) dx dy dz$ を考えることによって分布関数が得られ、次のようになる(図-2参照)

$$P(x, y, z) dx dy dz = \left(\frac{3}{2\pi n d^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{3(x^2 + y^2 + z^2)}{2\pi n d^2}} dx dy dz \quad (3)$$

ここに、 n はフロックを構成するセメント粒子数、 d はセメント粒子径である。

外力によってフロックの両端間距離が (x, y, z) から $(x, y, z) + d$ になるとすると、はじめ距離が (x, y, z) である

フロッド数 dN は

$$dN = NP(X, Y, Z) dx dy dz \quad (4)$$

である。また一個のフロッドの変形によるエントロピー変化 Δ は

$$\Delta = K \{ \log P(\alpha X, \beta Y, \gamma Z) - \log P(X, Y, Z) \} \quad (5)$$

で表されるから、変形による体積変化がなくかつ等方的であるとすると全エントロピー変化 S は

$$\begin{aligned} S &= \int \Delta dN = -\frac{1}{2} NK (\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 - 3) \\ &= -\frac{1}{2} NK (\alpha^2 + \frac{2}{\alpha} - 3) \end{aligned} \quad (6)$$

試料の体積を V 、外力方向の初期長さ l_0 とすると応力 τ は

$$\tau = \frac{F}{V/l_0}, \quad F = \tau \frac{V}{l_0} \quad (7)$$

で表されるから

$$\tau = -\frac{al_0}{V} T \left[\frac{\partial S}{\partial (\alpha l_0)} \right] = -\frac{a}{V} \left(\frac{\partial S}{\partial \alpha} \right) = \frac{a N K T}{V} \alpha = G_0 \alpha, \quad G_0 = \frac{a N K T}{V} \quad (8)$$

となる。

2) 塑性粘度 フレッシュペーストをビンガム物体に近い挙動を示すと仮定した場合のもう一つのレオロジー量である塑性粘度は、マイリンクの粘性理論に基づき、フレッシュペーストが降伏値をもつことを考えると、

$$\eta_{pe} = \frac{1}{A \sinh\left(\frac{B\tau}{\tau - \tau_0}\right)} \quad A, B; \text{ 定数} \quad (9)$$

4. フレッシュペーストのレオロジー方程式

第一近似として、フレッシュペーストをビンガム物体に近い挙動を示すものと仮定しレオロジー量を求める際、3(1)ではフレッシュペーストの弾性変形領域だけについて考えたが、さらにそれに基き、非可逆過程である流動状態に拡張することとする(図-3参照)。 $\delta = \tau/\alpha$ という量を考え、 $\log \delta = \chi t$ (χ は時刻 t におけるひずみ割合)と定義し、また式(8)の対数をとると

$$\log \tau = \log G_0 + \log \delta - \chi t$$

となる。式(9)を時間微分し、3(1)求めたレオロジー量を代入すると次のレオロジー方程式が得られる。

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{V}{a N K T} \frac{d\tau}{dt} + \frac{\tau}{A \sinh\left(\frac{B\tau}{\tau - \tau_0}\right)} \quad (10)$$

5. あとがき

本報告の範囲では、フレッシュペーストの挙動について定量的な考察はできないが、フレッシュペーストの内部構造についての仮定および測定量の分布関数を含みこれらを実験などにより求めることができれば、フレッシュペーストのレオロジー量については、より定量化および定量化が可能であると思われる。

<参考文献>

- 1) Isak-Shalom & Greenberg, S.A., Proc. of the 4th. Sympo. of Chem.Cement, p. 731 (1960)
- 2) Bomble, J.P. RILEM Seminar, Proc. of Fresh Concrete, Vol. 2, p. 3-1 (1973)
- 3) Fujimoto, H., Rheology and Soil Mechanics, Sympo. Grenoble, p. 14 (1970)

