

V-2 フレッシュモルタルの内部構造に関する考察

徳島大学 正会員 荒木 謙一

徳島大学 正会員 水口 裕之

徳島大学 学主員 O柴田 幸範

1. はじめに

最近、フレッシュコンクリートの性質を定量的かつ普遍的に表現する目的で、レオロジー分野からのアプローチがなされていく。レオロジーには変形と流動という力学的現象を観測しその結果を記述しようとするマクロレオロジーと、現象となつて現われる物質の力学的特性と物質の内部構造の立場から解釈しようとするミクロレオロジーとがある。本報告は、フレッシュコンクリートの基礎となるフレッシュモルタルの流動機構について、ミクロレオロジー的見地から基礎的な考察を行つたもので、まずフレッシュペーストの流動機構を考え、さらにそれに基づいてフレッシュモルタルの流動機構について考察した。なお考察にあたっては、セメント粒子および砂粒子は等尺の球形と考え、従来の研究成果を参考にしてフレッシュペーストおよびモルタルはビンガム物体に近き挙動を示すものと仮定した。

2. フレッシュペーストの挙動

(1) フレッシュペーストの内部構造

セメント粒子は水と接触するとただちに急激な化学反応をおこなすが、すぐ反応速度は低下し以後1時間前後はいわゆる休眠時間(dormant period)が続く。この状態を系全体として見た場合、セメント粒子は均一でメカニカルに連続した網目構造を形成しているが、実際は粒子は離れてみえるといわれている。

フレッシュペーストのこのような内部構造は、セメント粒子の粒子間力に起因するものであると考えられ、粒子間引力としてはファンデルワールス力、クーロン力、粒子間反発力として(1)は電気的斥力、セメント粒子に吸着した水分子による離反圧力(disjoining pressure)などが考えられる。一般に粒子が数 μm より小さい場合、クーロン力よりもファンデルワールス力のほうが支配的となるといわれていることから、セメント粒子のサイズを考慮すると粒子間引力はファンデルワールス力によるものと思われる。また粒子間反発力については、電気的斥力の大きさを決定する電位はフレッシュペーストにおいてはあまり高くないといわれており、さらに一般に使用されるフレッシュペーストは高濃度でセメント粒子が互いに近接していることから、主として離反圧力によるものと思われる。したがって、フレッシュペーストの内部構造はファンデルワールス力および離反圧力により決定される、つまり外力が作用したときこの二つが抵抗要因になるものと思われる。⁽¹⁾

(2) フレッシュペーストのレオロジー定数

ファンデルワールス力による分子間のポテンシャルエネルギーは分子間距離の6乗に逆比例することから、球形粒子間のファンデルワールス力によるポテンシャルエネルギー W_a は次式で与えられる。⁽²⁾

$$W_a = -A \left\{ \frac{2a^3}{R^3 - 4a^3} + \frac{2a^3}{R^3} + \ln \left(1 - \frac{4a^3}{R^3} \right) \right\} \quad \begin{array}{l} A: \text{定数, } a: \text{粒子半径} \\ R: \text{粒子中心間距離} \end{array} \quad (1)$$

また離反圧力による粒子間のポテンシャルエネルギー W_r は

$$W_r = B \left(\frac{1 - 2a}{R} + 1 \right)^2 \quad B: \text{定数} \quad (2)$$

となる。粒子間のポテンシャルエネルギー W は W_a と W_r の代数和であり、また粒子間力 F はポテンシャルエネルギー W を粒子間距離 R で微分して与えられる(図-1参照)。

フレッシュペーストはビンガム物体に近い挙動を示すと仮定すると、外力が作用した場合降伏値 τ_0 までは弾性変形を示し、それ以上になると塑性流動を示す。弾性変形をする場合の剛性率 G は図-1(2)の $r=R_0$ における接線の

順きに比例するものと考えられ、したがってレオロジー定数である降伏値 τ_0 はフレッシュペーストがあるひずみ ϵ_0 に達したときの値とすると次のようになる。

$$\tau_{y1} = \left\{ -8A \frac{a^2(R_0^4 - 16a^2R_0^2 - 3R_0^4 + 12a^4R_0^2 + 4a^4R_0^2 - 46a^4)}{R_0^4(R_0^4 - 4a^4)^3} + 12B \left(\frac{1-2a}{R_0} + 1 \right) \frac{(1-2a)^2}{R_0^2} \right\} \alpha \epsilon_0 \quad \alpha, \beta; \text{比例定数} \quad (3)$$

また、もう一つのレオロジー定数である塑性粘度 η_{pl} については、アイリングの粘性理論に基づいて(4)式で表わされるものとする。

$$\eta_{pl} = \frac{1}{C} \exp\left(\frac{W}{KT}\right) \frac{\tau - \tau_y}{\sinh \frac{\alpha(\tau - \tau_y)}{KT}} \quad \tau; \text{外力}, T; \text{絶対温度} \quad (4)$$

$C, K, \alpha; \text{定数}$

3. フレッシュモルタルの挙動

(1) フレッシュモルタルの内部構造

モルタルはセメントペーストに細骨材を加えたものである。このため、フレッシュモルタルの流動状態においては、粘稠なフレッシュペーストによる粘性抵抗はフレッシュモルタルの挙動に影響を及ぼすものと思われる。また細骨材粒子はかたまり接触状態にあるものと思われ、粒子間接触による摩擦力も外力が作用した場合の抵抗要因として考えられる。そこで以上二つの抵抗要因について考察する。

(2) フレッシュモルタルのレオロジー定数

細骨材粒子の摩擦力 f_t については、図-2に示すように外力が作用すると点Aで接触状態にある粒子が点Cまで接触滑動するものとして、(5)式を導く。

$$f_t = \frac{\mu f (1 - \sin \Gamma(\alpha))}{\frac{\pi}{2} - \Gamma(\alpha)} \quad \mu; \text{摩擦係数} \quad (5)$$

$\Gamma(\alpha); \text{粒子接触角の分布関数}$

また流動状態においては、フレッシュペーストの粘性が高いことから層流と仮定できるものとし、ストークスの法則を適用する。よって、フレッシュモルタルのレオロジー定数は単位面積中の細骨材粒子数 n と(6),(7)式で表わされる。

$$\tau_{y2} = \left\{ m \left\{ \varphi_0 - (\varphi_0 - \varphi_1) e^{-\frac{R_0}{k}} \frac{\mu f (1 - \sin \Gamma(\alpha))}{\frac{\pi}{2} - \Gamma(\alpha)} \right\} \right\} n \quad \varphi_0, \varphi_1, k; \text{細骨材粒子の接触数を表わす比例定数} \quad (6)$$

$$\eta_{pl2} = 6\pi \eta_{pe} r m \quad r; \text{細骨材粒子半径} \quad (7)$$

4. あとがき

フレッシュモルタルの内部構造から、レオロジー定数である降伏値および塑性粘度の発生機構について基礎的な考察を行なったが、まだ未解の点が多く、今後、実験によって流動状態の正確な観測により仮定の適否を検討し、さらにこれらの現象により定数を定めることができれば高度定量化できるものと思われる。

<参考文献>

1. Powers, T.C.; The properties of Fresh Concrete, John Wiley & Sons Inc., PP.392~436, 1968
2. 飯島俊郎; Debye 分子間力, 培風館, PP.48~50, 1974
3. Tobolsky, A.A., Eyring, H.E.; Mechanical properties of Polymeric Materials, Jour. of Chem. Phys., Vol.11, PP.125~134, 1943
4. 中川鑑太郎, 神戸博太郎; レオロジー, みすず書房, PP.192~198, 1970

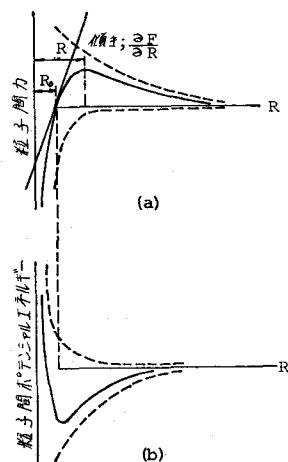


図-1 ポテンシャルエネルギーと力の関係

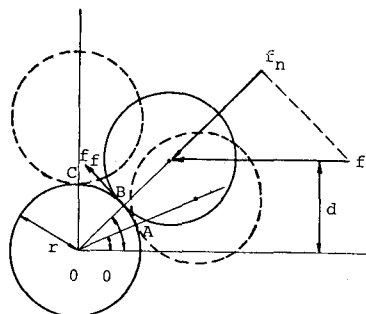


図-2 細骨材粒子の接触滑動