

高流動モルタルのレオロジー定数の経時変化の予測に関する一考察

摂南大学大学院	学生会員	福島 健
摂南大学工学部	正会員	熊野 知司
摂南大学工学部	正会員	矢村 潔
ポゾリス物産(株)	正会員	阿合 延明
清水建設(株)	正会員	名倉 健二

1. はじめに

近年、コンクリートの構成材料の物性値から、コンクリートあるいはモルタルのレオロジー定数を予測し、さらにそのレオロジー定数を用いて型わく内への充てん照査を行なう、いわゆる施工設計システムについていくつかの研究が行われている。しかし、フレッシュコンクリートにおけるレオロジー定数の時間に伴う変化の予測に関しては、ほとんど研究されていないのが現状である。そこで、本研究はポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を用いた高流動モルタルをモデル材料とし、降伏値と塑性粘度に着目して、これらの時間の経過による変化を予測するモデルを構築することを目的とする。

2. 予測モデルの構築

本研究では、セメントへの接水直後に急激な水和反応が終了し、モルタルのレオロジー定数の経時変化は、休止期に入ってからおこる物理的凝集が支配的であると考え、セメント粒子の凝集に着目して工学的に簡便に取り扱える予測モデルの構築を行なった。

ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した場合、セメント粒子の凝集、分散に関する相互作用としてファンデルワールス引力、立体障害反発力が働いていると考えられている。粒子間に引力や外的な力が加わらない場合、最大の凝集速度はブラウン運動で衝突した粒子がすべて凝集する場合であり、その際の急速凝集速度定数 K は次式で表される。

$$K = \frac{4kT}{3\eta} \quad (1)$$

k : ボルツマン定数 ($= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)
 T : 絶対温度 (K) η : 分散媒の粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

セメント粒子の衝突による粒子数 n (個/ m^3) の減少速度は 2 分子反応と同様に進行すると考え、時間を t 、安定度比を (エネルギー障壁のないときの急速凝集速度定数とあるときの緩凝集速度定数の比) とすれば次式が成立するといわれている。

$$-\frac{dn(t)}{dt} = Kn(t)^2 \omega^{-1} \quad (2)$$

反発力が作用している場合は、凝集速度が遅くなり、粒子の衝突回数 $1/\omega$ だけ凝集を引き起こす。と反発ポテンシャルエネルギー (V) の関係は (3) 式で示される¹⁾。

$$\omega = 2a \int_{2a}^{\infty} \exp\left(-\frac{V}{kT}\right) \frac{dH}{H^2} \quad (3)$$

a : 粒子径 (m)
 H : 対向した粒子の中心間距離 (m)

粒子間距離と反発ポテンシャルエネルギー (V) との関係の概念の一例を図 - 1 に示す²⁾。この関係を参考にし、

$$V = \frac{a^2 \delta}{H} \quad (4)$$

: 高性能 AE 減水剤の分子構造や添加量によって決まる定数

で表されると仮定する (図 - 1 の点線) と、(3) 式は次式のようなになる。

$$\omega = \frac{2KT}{a\delta} \exp\left(\frac{a\delta}{2KT}\right) \quad (5)$$

(5) 式で得られた ω を (2) 式に代入することにより t 秒後のセメント粒子数 $n(t)$ は次式により求められる。

$$n(t) = \frac{n_0}{n_0 \frac{2at\delta}{3\eta} \exp\left(-\frac{a\delta}{2KT}\right) + 1} \quad (6)$$

n_0 : 初期の粒子数 (個/ m^3)

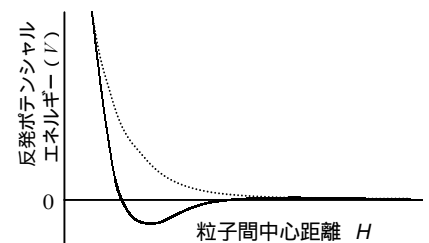


図 - 1 粒子間ポテンシャルエネルギー曲線の概念図

キーワード: 高流動モルタル, レオロジー定数, 凝集速度, 経時変化

連絡先: 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17 番 8 号 TEL072-839-9123 FAX072-838-6599

服部³⁾が導いたセメントペーストの流動の基礎式を参考に降伏値 τ_y 、塑性粘度 η_{pl} の経時変化を求める予測式を以下のように考えた。

$$\tau_y(t) = A (n_0 - n(t))^{2/3} + C \quad (7) \quad n_0 : \text{単位せん断面あたりのセメントペースト中における初期の粒子数 (個/m}^3\text{)}$$

$$\eta_{pl}(t) = B (n_0 - n(t))^{2/3} + D \quad (8) \quad n(t) : \text{単位せん断面あたりのセメントペースト中における } t \text{ 秒後の粒子数 (個/m}^3\text{)}$$

3. 実験結果との比較

使用材料およびモルタルの配合を表 - 1, 2 に示す。実験要因は、高性能 AE 減水剤の添加率 (C×0.8, 0.9, 1.0%)、環境温度 (10, 20, 30) とした。練り上がり 5 分後を初期値とし、以後 30 分毎に 180 分まで B 8 U 型粘度計によりレオロジー定数を測定した。

図 - 2 ~ 図 - 5 に実験結果を示す。いずれの高性能 AE 減水剤添加率、温度においても降伏値および塑性粘度は時間の経過とともに大きくなるのがわかる。ここで、本研究では、予測モデル中の未知数である A, B, C, D の実験定数は、図 - 2 および図 - 4 で示す温度 20 での実験データをもとにデータフィッティングにより決定した。

$$A = 5.9638 \times 10^{-10} \quad B = 7.1824 \times 10^{-10} \quad C = 1.882 \quad D = 2.719$$

$$= (-0.014067 + 2.823 c) \times 10^{-14} \quad c : \text{高性能 AE 減水剤添加率 (\%)}$$

図 - 2 ~ 図 - 5 中には予測モデルによる計算値もプロットしている。実測値と予測値の比較を図 - 6 に示す。现阶段では実測値と予測値に差が見られるが、このような簡便なモデルを用いて高流動モルタルのレオロジー定数の経時変化を概ね予測できる可能性があるといえる。

表 - 1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.15 g/cm ³ ブレーン 3012 cm ³ /g
細骨材	淀川産川砂 密度 2.59 g/cm ³ 吸水率 1.31% 粗粒率 2.76
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系

表 - 2 モルタルの配合

W/C (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)		
		W	C	S
35	2 ± 1	278	794	1166

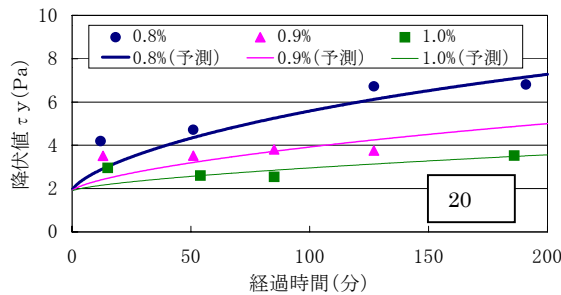


図 - 2 降伏値の経時変化と予測値

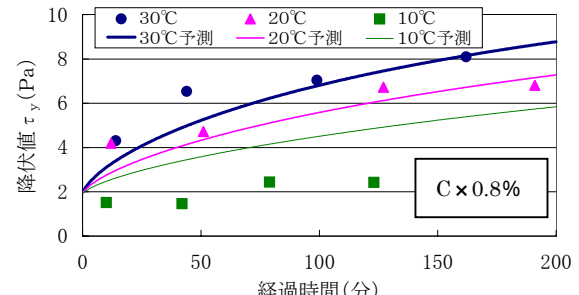


図 - 3 降伏値の経時変化と予測値

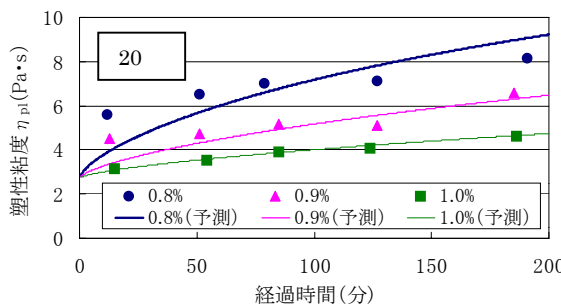


図 - 4 塑性粘度の経時変化と予測値

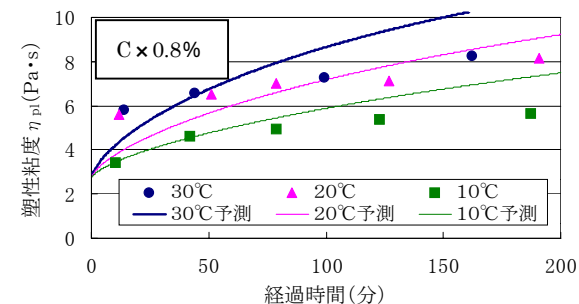


図 - 5 塑性粘度の経時変化と予測値

4. おわりに

本研究では、セメント粒子の物理的凝集に着目して、高流動モルタルの時間の変化にともなうレオロジー定数の変化を予測するモデルを構築した。今後はさらにデータを収集し、より精度の高いモデルにする必要がある。

- 参考文献 1) 北原文雄, 渡辺昌: 分散乳化系の化学, 工学図書, 1979
 2) 日本コンクリート工学協会, 材料設計とコンクリート構造物の性能に関するシンポジウム, pp.197~213, 1999.5
 3) 服部健一, 和泉嘉一: セメントペーストの流動性に関する新しい理論, 「材料」第 32 巻第 356 号, pp.461~470, 1983.5

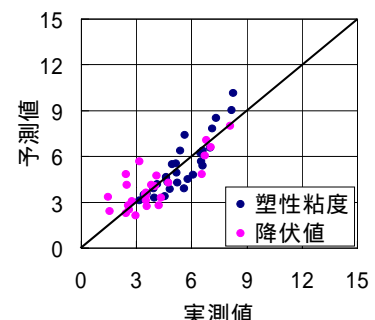


図 - 6 実測値と予測値の比較