

フレッシュコンクリートのポンプ圧送における品質変化とその予測に関する基礎的研究

撰南大学大学院 学生会員 ○立山 典宏
 撰南大学工学部 正会員 熊野 知司
 撰南大学工学部 正会員 矢村 潔

1. はじめに

高流動コンクリートや高強度コンクリート等の新しいコンクリートが開発される中で、施工中に時間の経過と共にフレッシュコンクリートの流動性が低下し、ポンプの閉塞や形枠内での充てん不良が発生する等のトラブル事例が報告されている。ポンプ圧送後のフレッシュコンクリートの性状変化の要因としては、圧力、せん断力、摩擦力の作用が関係しているといわれている。本研究では、この中から圧力の作用に着目し、圧力下でのセメントペーストの粘度の変化を把握することを目的とした実験を行った。なお、実施工でのポンプ圧送では、ピストン運動に伴う圧力波形が生じるが、本研究では、その第一段階として一定の圧力を作用させた。既報¹⁾において提案したセメントペーストの経時変化の予測式を圧力が作用した場合に拡張する方法についても検討を行った。

2. 実験概要

使用材料および示方配合を表-1 および表-2 に示す。表-3 に実験要因および水準を示す。環境温度は、25℃一定として行った。

測定項目は、B8U 形粘度計による粘度、温度、空気量とした。セメントペーストの練混ぜは、モルタルミキサーを用いて行い、1バッチの練混ぜ量は2.0ℓとした。これを1バッチずつ計2バッチ練り合わせて1試料とした。練上り直後を0分として一回目の測定を行い圧力を作用させる試料と作用させない試料（以下、静置）に二分した。圧力を作用させる試料は、加圧ブリーディング試験装置にペーストをいれ、アムスラー型圧縮試験装置で一定の圧力を20分間連続して作用させ、その後、圧力を作用させたペーストと静置させたペーストの測定を行った。以上を1サイクルとし2サイクルの測定を行った。

3. 結果および考察

図-1 に経過時間と塑性粘度との関係を示す。図より、いずれの場合でも、時間の経過とともに塑性粘度は増加していることがわかる。また、一定の圧力を作用させた場合と静置を比較すると、一定の圧力が大きくなるほど時間の経過にともない塑性粘度が増加することがわかる。図-2 に経過時間と式(1)で示す $\Delta\eta_{pl}$ との関係を示す。図より、作用圧力が大きいほど静置試料の粘度からの増分である $\Delta\eta_{pl}$ が大きくなることがわかる。

$$\Delta\eta_{pl} = \eta_{pl}(t) - \eta_{pl}(0) \quad \text{式(1)}$$

— t 分後の静置の塑性粘度

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度3.15g/cm ³ プレーン3350cm ² /g
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤標準形 (PA)

表-2 示方配合

W/C	W	C	高性能AE減水剤	
%	Kg/m ³		Typa	C×%
30	484	1610	PA	0.7

表-3 実験要因および水準

要因	水準
圧力 (N/mm ²)	0, 2, 5, 7.5

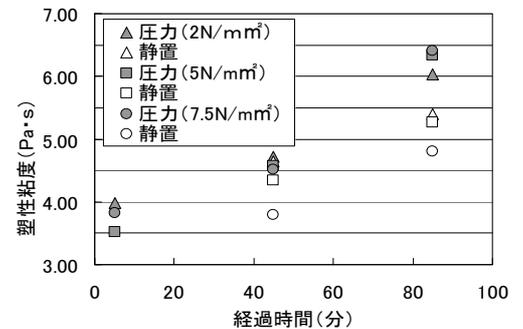


図-1 経過時間と塑性粘度との関係

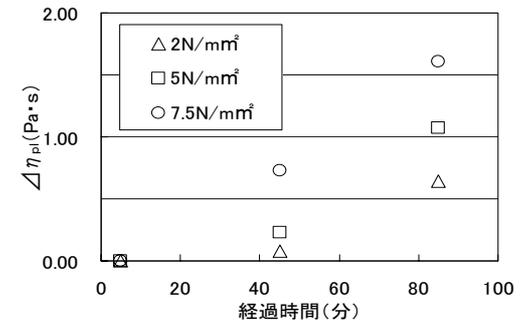


図-2 経過時間と $\Delta\eta_{pl}$ との関係

キーワード : ポンプ圧送, ポテンシャルエネルギー, 凝集, 応力依存型速度過程

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

4. 圧力が作用した場合の予測モデルの検討

図-3に、既報¹⁾において仮定した粒子間ポテンシャルエネルギー曲線の概念図を示す。立体障害作用が主な分散成分となっているポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いた場合、ポテンシャルエネルギー (V) は粒子の表面付近で無限大となり明確なピーク (V_{max}) が存在せず、ピークを超えて凝集することは考え難いとされているが、本研究では、セメント中の硫酸イオンの影響や水和反応の影響により、ピークが存在するようになるものとの仮設を設けた。

松尾ら²⁾は、圧力が作用した場合には、セメントの粒子間が強制的に狭められることや、セメントの水和反応が促進されることから、流動性の変化が大きくなると報告している。そこで、本研究では、応力依存型速度過程の概念を³⁾参考として図-4に示されるように、圧力が作用した場合には、ポテンシャルエネルギーのピークが下がり、セメント粒子がエネルギー障壁を乗り越え、凝集しやすくなるものと考えた。

この考えをセメントペーストの経時変化の予測式に取り入れると、ポテンシャルエネルギーの減少を表す項を α として式(2)で示すことができる。

$$\eta_p(t) = A \times \left(n_0 - \frac{n_1}{n_1 \frac{2at\delta}{3\eta} \exp\left(-\frac{a\delta}{2kT} + \alpha\right) + 1} \right)^{\frac{2}{3}} + \eta_0 \quad \text{式(2)}$$

- A: セメント粒子同士の1接触点における粘度 (3.65 × 10¹⁰) [Pa·s]
- n₀: 時刻0におけるセメントの1次粒子数 [個/m³]
- n₁: セメント1m³中の初期の1次粒子数 [個/m³]
- a: セメントの粒子半径 [μ]
- t: 経過時間 [s]
- η: 分散媒の粘度 [Pa·s]
- k: ボルツマン定数 (1.38 × 10⁻²³) [J/K]
- T: 絶対温度 [K]
- δ: 高性能AE減水剤による影響を表す実験定数 (1.49 + 1.484d) × 10⁻¹⁰ [J/m]
- η₀: 水とセメントの接触による粘度 (1.00) [Pa·s]

ここで、αを決定するために、圧力を作用させた場合の粘度の実測値を式(2)にフィッティングさせてαを暫定的に決定した。図-5に圧力とαとの関係を示す。両者の関係が圧力 p = 0 の時 α = 0 となる原点を通る一次関数の直線式で表されると考えると、圧力 p と α との関係式として式(3)を得ることができる。

$$\alpha = 0.1652 p \quad \text{式(3)} \quad p: \text{圧力 (N/mm}^2\text{)}$$

5. 計算値と実測値との比較

図-6に式(2)による圧力 7.5N/mm²での粘度の計算値と実測値との比較を示す。圧力が作用した場合の粘度の経時変化は図に示したように計算することが可能であると考えられる。本研究においては、一定の圧力を作用させているが、実際のポンプ施工ではピストン運動により圧送されるため圧力に波形が生じるため、今後は、より多くのデータを集め、本手法をより汎用性のあるものとする必要がある。

<参考文献>

- 1) 熊野知司：ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いたセメントペーストの粘度の経時変化予測手法に関する研究
- 2) 松尾茂美：ポンプ施工用セメント添加剤の作用効果, 土木学会第 50 回年次学術講演会, 1997
- 3) 熊野知司：コンクリートの空隙構造の変化に基づく引張りクリープ予測モデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 613, Vol. 42, 1992. 2

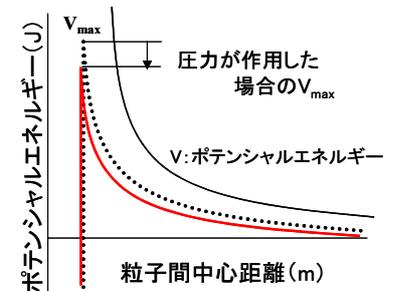


図-3 ポテンシャルエネルギーの概念図

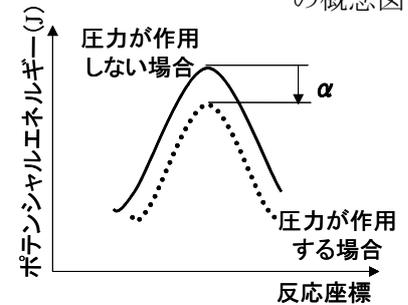


図-4 応力依存型速度過程の概念図

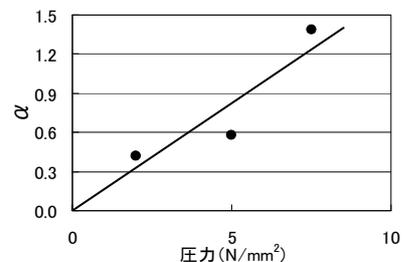


図-5 圧力と α との関係

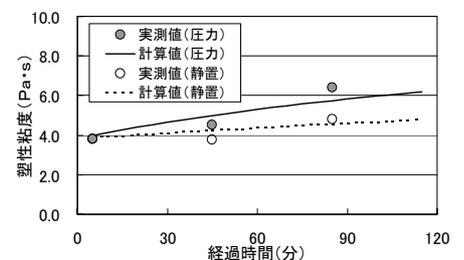


図-6 圧力 7.5N/mm²の計算値と実測値との比較