

第 部門

圧力が作用するセメントペーストの粘度の経時変化に関する一考察

摂南大学大学院 学生会員 ○小平 伸彦
 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

1. はじめに ポンプ圧送によりフレッシュコンクリートのスランプをはじめとする性状が圧送前後で変化することは知られている。その結果、施工現場での充填不良やコールドジョイントといった施工不良に結びつくケースがある。圧送前後での変化の原因として、大きく分けて圧力・摩擦力・せん断力の作用が関係している。これら3つの原因のうち研究の第一段階として圧力に着目し、石灰石微粉末ペーストとセメントペーストの静的な圧力下での経時変化試験を行ない、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に圧力が作用した場合への拡張について検討した。

2. 実験概要 表-1 に石灰石微粉末ペースト表-2 にセメントペーストの示方配合を示す。石灰石微粉末ペーストの場合は圧力を 10MPa で一定に作用させ、セメントペーストの場合は 2.5, 5, 7.5, 10MPa を一定に作用させた。B8 U型粘度計により初期の粘度、試料の温度の測定後、この試料を静置試料と加圧試料に分け圧力を 20 分間作用させた。加圧中の圧力容器内の温度および圧力は容器内に取り付けたセンサーを用いて 1 分間隔で測定し、所定の時間加圧したあと、粘度および試料温度の測定を行った。こまめを 1 サイクルとし 2 サイクル実験を行った。

3. 実験結果 図-1 に石灰石微粉末ペーストの粘度の経時変化を示す。図より PO および無添加の粘度に変化がみられなかった。

図-2 に石灰石微粉末のブレン試験の結果を示す。図より PO および無添加には比表面積に変化はなく、粒子の大きさに変化が生じていないことがわかる。

図-3 に PO を用いた場合のセメントペーストの粘度の経時変化を示す。図より、セメントペーストの場合、石灰石微粉末ペーストの場合とは結果が異なり、粘度が時間の経過とともに増加し、さらに加圧試料の粘度が静置試料の粘度よりも増加した。

図-4 に石灰石微粉末およびセメントペーストの温度の経時変化を示す。図より、石灰石微粉末ペーストは静置試料と加圧試料との間に温度差は見られなかったが、セメントペーストの場合は、静置試料に比べ加圧試料の温度が若干高くなる部分があることがわかる。温度の上昇が水和反応によるもの考えると、セメントペーストの場合、圧力の作用により水和反応が促進されることでセメント粒子の凝集が起こり粘度が増加したものと推察される。

これらの結果から、粒子の凝集を斥力と引力の和で表せられる

表-1 石灰石微粉末ペーストの示方配合

配合	W/P	W	P	混和剤	
	[%]	[Kg/m ³]		種類	P × %
石灰石微粉末	25	406	1626	PO	0.20
	38	509	1341	無添加	-

表-2 セメントペーストの示方配合

配合	W/C	W	C	混和剤	
	[%]	[Kg/m ³]		種類	P × %
普通ポルトランドセメント	30	484	1610	PO	0.8

PO:ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤(標準形)

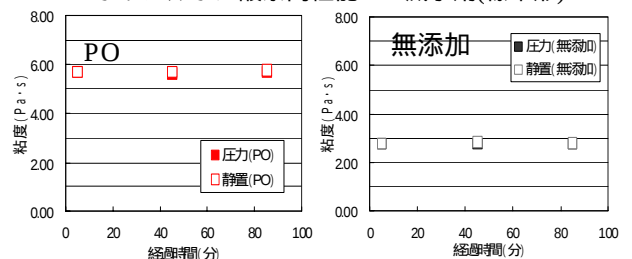


図-1 粘度と経過時間の関係

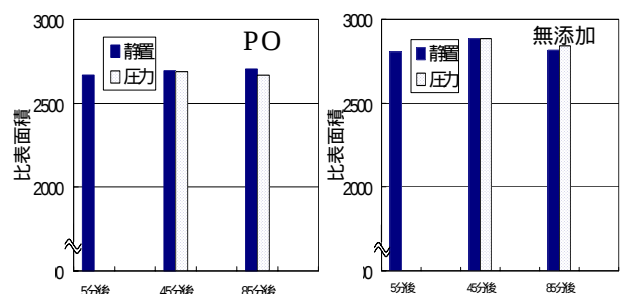


図-2 ブレンと経過時間の関係

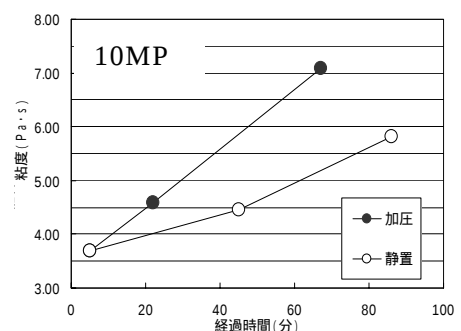


図-3 粘度の経時変化

粒子間ポテンシャルエネルギーと結び付けて考えると、PO を用いたセメントペーストの場合、圧力の作用による粘度の増加は、化学的な要因、すなわち水和反応の促進により見かけ上の粒子間ポテンシャルエネルギーが縮小して凝集が促進されたと推察することができる。

4. 圧力が作用した場合の予測モデルの検討 前節において得られた実験結果より、既報¹⁾において構築したセメントペーストの粘度の経時変化予測式に、ポテンシャルエネルギー減少分を表す項を α とすることで圧力が作用した場合の粘度の経時変化予測式が式(1)で示されるものと考えた。

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

図-5に粘度の経時変化の実測値にデータフィッティングすることで得られた α と圧力 p との関係を示す。両者の関係が圧力 $p = 0$ のとき $\alpha = 0$ となる原点を通る一次関数の直線式で表されたとすると、圧力 p と α との関係式として式(2)を得ることができる。

$$\alpha = 0.0897 \times p \quad p: \text{圧力 (MPa)} \quad (2)$$

5. 波形を加えた加圧方法での予測値と実測値の比較 本研究での予測式は一定の圧力で構築したものである。しかし、実際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。そこで、実際の圧力波形を模擬した(図-6 参照)、台形波形での加圧方法によるセメントペーストの加圧試験を行なった。

図-7に最大圧力10MPaでの台形波形で加圧したセメントペーストの粘度の実測値と式(1)により算出した予測値との比較を示す。最大圧力より求めた α を用いて計算した予測値を実線で示す。実線で示した加圧されたセメントペーストの粘度の予測値は実測値よりも若干大きな値が算出された。そこで、より実測値に近づけるために式(2)中の p を図-6のような台形波形を用いた場合は、台形波形の加圧している台形部分の面積を時間で割り、これを平均圧力と考えて α を算出した。その結果から再度、予測値の算出を行ない、図-7中の破線で示した。図より予測値は最大圧力を用いたよりも近い値が算出された。以上のことから波形を加えて圧力を作用させる場合には平均圧力を用いることで適用できる可能性があると考えられる。

6. おわりに 本研究では、圧力が作用した場合のセメントペーストの粘度の経時変化に対する影響をメカニズム面から検討し静的な圧力に着目して、既報¹⁾のセメントペーストの経時変化予測式を拡張して式(1)を構築した。さらに、実際のポンプ圧送によるピストン運動に伴う圧力波形を用いて、台形波形を用いた実験を行ない、平均圧力の考えを取り入れることで、発展する可能性があると考えられる。今後、異なった波形を使った加圧実験を行うなど、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と考える。

<参考文献> 1)立山、熊野、矢村；セメントペーストの粘度の経時変化の予測に関する研究、平成16年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要、pp. -29-1~2, 2004.5

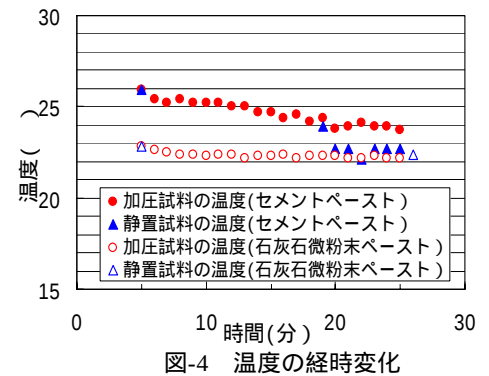


図-4 温度の経時変化

A: 実験定数 (Pa・s)
 n_0 : 時刻0におけるセメントの1次粒子数 (個/m³)
 n_1 : セメントペースト1m³中の初期の粒子数 (個/m³)
 a : セメント粒子半径 (m)
 t : 経過時間 (s)
 η : 分散媒の粘度 (Pa・s)
 k : ボルツマン定数 (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
 η_0 : 水とセメントの接触による粘度 (Pa・s)

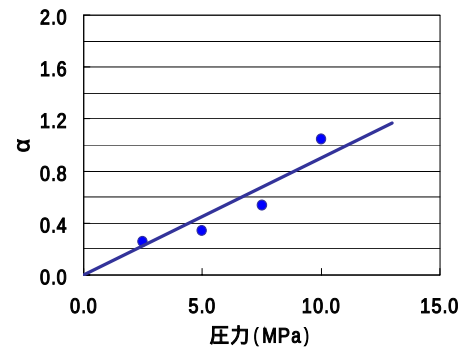


図-5 α と圧力 p の関係

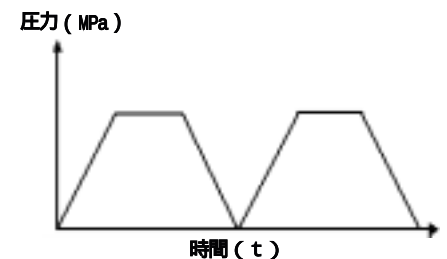


図-6 台形波形

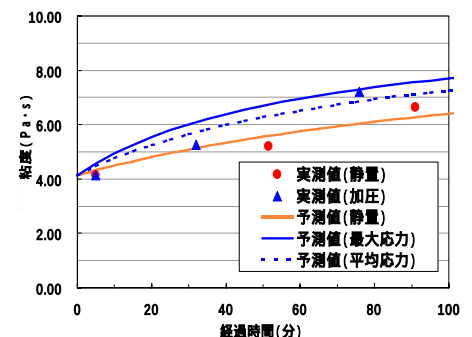


図-7 10MPaでの予測値と実測値