

フロー試験の物理的解釈に基づくセメントペーストの粘性評価手法

東京理科大学大学院 学生会員 ○橋本 永手

東京理科大学大学院 学生会員 西村 和朗

東京理科大学 正会員 江口 康平

東京理科大学 正会員 加藤 佳孝

1. はじめに

フレッシュコンクリートの施工の合理化を図るためには、コンクリートの粘性を把握することが重要な課題の一つとされている¹⁾。コンクリートの変形挙動はビンガム流体でモデル化されることが多く、図-1に示す「粘性曲線」の「降伏応力」および「塑性粘度」を用いて「粘性」を議論することが一般的である。粘性曲線を求める場合、一般には回転粘度計が用いられており、理論値に近い粘性曲線を得ることが可能と考えられている²⁾。本研究では、テーブルフロー試験を用いて、簡便かつ定量的に粘性曲線を得る「フロー測定による粘性推定法」を考案し、セメントペーストで降伏応力および塑性粘度を算出した。

2. フロー測定による粘性推定法

2.1 粘性把握のためのフロー試験の物理的解釈

粘性曲線を得るには、試験体に作用するずり応力と試験体に生じるずり速度を求めることが必要となる。本研究では、テーブルフロー試験によって得られたフロー値を次のように物理的に解釈をすることで、ずり応力、ずり速度に相当する物理量を求めた。

(1) ずり応力の導出

試験体に作用する力を $F(N)$ 、試験体密度を $\rho(kg/m^3)$ 、試験体体積を $V(m^3)$ 、テーブルの落下速度を $v(m/s)$ 、力の作用時間を Δt とすると、運動量保存より式(1)が成立

する。

$$F = \rho \times V \times v \div \Delta t \quad \text{式(1)}$$

試験体に作用する力が、図-2のように水平方向に変換されることで、フローが広がると仮定する。この変換によって失われる力の割合を係数 K とすると、変換後の力 $F_H(N)$ は式(2)となる。

$$F_H = F \times K = \rho \times V \times v \div \Delta t \times K \quad \text{式(2)}$$

n 打目に試験体に作用する応力 σ_n は、 $n-1$ 打時の試験体底面積で F_H を割ればよいから、 n 打時のフロー値を L_n とすると n 打目に試験体に作用するずり応力は式(3)となる。

$$\begin{aligned} \sigma_n &= F_H \div \left(\frac{\pi}{4} \times L_{n-1}^2 \right) \\ &= \frac{\rho \times V \times v}{\Delta t} \times K \div \left\{ (L_{n-1})^2 \times \frac{\pi}{4} \right\} \end{aligned} \quad \text{式(3)}$$

(2) ずり速度の導出

テーブルから力を受け、試験体底面積が単位面積当たり、単位時間当たりに変化する割合をずり速度とする。つまり、 n 打時に生じるずり速度 r_n は、 n 打時の試験体底面積と $n-1$ 打時の試験体底面積の変化量を、 n 打時の試験体底面積と作用時間で割ることで求まる（式(4)）。

$$r_n = \frac{L_n^2 - L_{n-1}^2}{L_{n-1}^2} \div \Delta t \quad \text{式(4)}$$

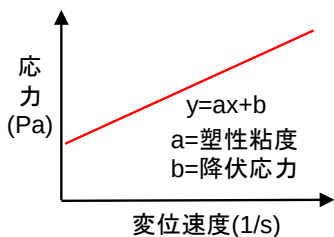


図-1 粘性曲線

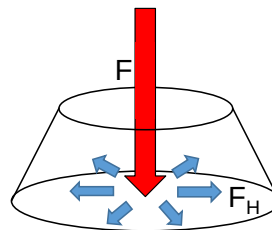


図-2 試験体に作用する外力

キーワード 粘性, ビンガム流体, 降伏応力, 塑性粘度, テーブルフロー

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL04-7124-1501 nagatexxx@gmail.com

表-1 OPC40 試験結果

打数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
フロー(mm)	185	199	209	219	227	233	237	242	247	251	253
ずり応力(Pa)	—	61.9	53.5	48.5	44.1	41.1	39.2	37.7	36.3	34.7	33.6
ずり速度(1/s)	—	14.6	9.61	9.14	6.94	4.57	3.65	3.57	4.30	3.04	1.49

表-2 OPC50 試験結果

打数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
フロー(mm)	265	276	282	288	296	301	302	—	—	—	—
ずり応力(Pa)	—	10.3	9.50	9.10	8.73	8.29	7.99	—	—	—	—
ずり速度(1/s)	—	3.00	1.49	1.45	1.78	1.27	0.112	—	—	—	—

表-3 OPC60 試験結果

打数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
フロー(mm)	351	359	364	368	370	—	—	—	—	—	—
ずり応力(Pa)	—	2.59	2.47	2.42	2.35	—	—	—	—	—	—
ずり速度(1/s)	—	0.772	0.397	0.392	0.129	—	—	—	—	—	—

表-4 改良試験および回転粘度計試験結果

	OPC40		OPC50		OPC60	
	本手法	回転粘度計	本手法	回転粘度計	本手法	回転粘度計
降伏応力(Pa)	29.4	37.2	7.76	7.8	2.30	2.6
塑性粘度(Pa・s)	2.24	2.54	0.811	0.61	0.378	0.26

2.2 試験方法

土木学会コンクリート標準示方書に準拠し、テーブルフロー試験をした。ただし、フロー値の測定は1打ごととし、1打のフロー値の変化が2mm以下となるまで行った。式(3)、(4)によって得られたn打目のずり応力、ずり速度から、ずり応力-ずり速度グラフを作成し最小二乗法により近似直線を得る。得られた近似直線の切片を降伏応力、傾きを塑性粘度とすることで粘性が推定できる。ただし、作用時間Δtを変形が生じている時間とすると、試験体の塑性粘度が高ければ短く、塑性粘度が低いほど長くなるため、Δtと塑性粘度は反比例の関係にあると仮定した。この比例定数と係数Kは、既往研究の結果¹⁾と本手法の結果を用いて、逆解析によって、それぞれ0.024、0.06と設定した。また、ρはペーストの配合から求め、vは自由落下の式から0.443m/sである。

3. 実験結果

普通ポルトランドセメントを結合材とし、水セメント比を40、50、60%としたセメントペースト（以下OPC40、50、60）に「フロー測定による粘性推定法」を実施し、表-1、2、3の結果を得た。これらの結果を用いて、図-3の粘性曲線を作成した。OPC40、50、60の降伏応力はそれぞれ29.4、7.76、2.30(Pa)となり、セ

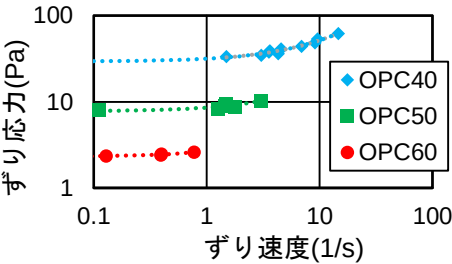


図-3 実験結果

メント水比の増加とともに降伏応力は小さくなった。また、塑性粘度は2.24、0.811、0.378(Pa・s)となり、セメント水

比の増加とともに塑性粘度は小さくなった。これらの数値の定量的な妥当性を確認するため、本試験の結果と回転粘度計によって得られたレオロジー定数¹⁾を比較すると表-4のようになる。OPC40、50、60%で、本手法と回転粘度計ではほぼ同等の値であることが確認された。

4. まとめ

テーブルフロー試験を物理的に解釈することで、セメントペーストの粘性評価を試みた結果、定量的に粘性を把握できる可能性を示すことができた

参考文献

1) 村田二郎，菊川浩治：土木学会論文集，vol.1985，No.354，P109-118
2) JIS Z8803 液体の粘度測定方法