

コンクリートの新しい流動モデルの一検討

日本大学 学生会員 ○根本 竜太郎

日本大学 正会員 伊藤 義也

日本大学 正会員 山口 晋

全国生コンクリート工業組合連合会 正会員 山之内 康一郎

1. はじめに

圧送実績の少ない特殊なコンクリートを用いた工事では、事前にコンクリートポンプ車による試験圧送を行い、配管計画やポンプ能力を定めているのが現状である。既往の研究では、試験圧送を不要とするポンプ圧送圧力の予測において、管内流動のモデルは管壁と試料との間が液体摩擦状態であるとして解析を行っていた。¹⁾しかし、この場合、ポンプ圧送圧力を予測するための、塑性粘度・降伏値・粘性摩擦係数及び付着力は流量式による 4 元連立方程式を用いても解が得られないので、流動解析を行うための合理的な流動モデルの検討が必要である。

そこで本研究は、ポンプ圧送圧力の推定方法として、管型粘度計および加圧脱水試験による新たな管内流動解析モデルの検討を行った。

2. コンクリートの管内流動

2.1 コンクリートの流量式

図1に示す通り、コンクリートの管内流動は、圧送時コンクリート中の自由水が壁面との界面に滲み出て、これが潤滑層となって、滑りを伴う塑性流れとなる。すなわち水とコンクリートとの2層流れとなると仮定した。

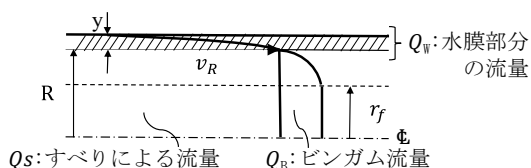


図. 1 管内流動の流速分布

このときの、コンクリートの管内流量は、次式によって与えられる。

$$Q_A = Q_B + Q_S + Q_W \quad \text{式-1}$$

ここに、 Q_A ：実測流量(吐出量)、 Q_B ：ビンガム流量、
 Q_S ：滑りによる流量、 Q_W ：水膜部分の流量

Bingham 流量は式-2 に示すようである.

$$Q_B = \frac{\pi(R-y)^4 \Delta P}{8 \ln n_l} \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{r_f}{R-y} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{r_f}{R-y} \right)^4 \right\} \quad \text{式-2}$$

ここに、 η_{pl} ：塑性粘度、 τ_f ：降伏値、 R ：管の内径、 y ：水の膜厚、 $\frac{\Delta P}{l}$ ：圧力勾配、 r_f ：栓流半径($\frac{2l\tau_f}{\Delta P}$)

また、滑りによる流量は、図1より式3で表される。

$$Q_s = \pi(R - y)^2 V_R \quad \text{式-3}$$

ここに, $V_R : r = (R - y)$ における流速

$$= \frac{\Delta P}{4 \ln} \{ (R - y)^2 - R^2 \} \quad \text{式-4}$$

 η : 水の粘性係数(0.001Pa/s)

水膜部分の流量は、式4を用いて、 $R - y$ から R までを積分することによって求められる。

$$Q_W = \int_{R-y}^R 2\pi V_R r dr$$

$$= \frac{\pi \Delta P}{2 \ln} \left\{ \frac{R^4}{4} - \frac{(R-y)^2}{2} \cdot R^2 + \frac{(R-y)^4}{4} \right\} \quad \text{式-5}$$

2.2 水の膜厚の予測と推定

管壁面における水の膜厚は、レオロジー定数、圧力分配及び実測流量を式1~5に代入してニュートン法より予測できる。また、水の膜厚の推定については、加圧脱水試験より実験的に検討した。

3. 実験方法

3.1 使用材料及びコンクリートの配合

実験に用いた材料は表1に示す通りで、スランプフローを50、60及び70cmとした併用系の高流動コンクリートを用いた。配合は表2に示す通りである。

表.1 使用材料

材料	種類	物性
セメント	普通ポルトランドセメント	密度3.16g/cm ³ , 粉末度3370cm ² /g
細骨材	茨城県鹿島産陸砂	密度2.62g/cm ³ , 吸水率1.00%, F.M. 2.10
	北海道産白老陸砂	密度2.65g/cm ³ , 吸水率1.25%, F.M. 4.26
粗骨材	東京都青梅産碎石2005	密度2.67g/cm ³ , 吸水率0.92%, F.M. 6.77
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボキシ酸エーテル化合物
	増粘剤	セルロース系化合物

表.2 コンクリートの配合

W/(C+B) (%)	s/a (%)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)						
				W	C	BFC	S	G	Ad1	Ad2
35	53.7	50±5	4.5 ± 1.5	165	330	141	834	862	3.77	0.15
	53.1	60±5		170	340	146	857	814	3.89	0.15
	52.5	70±5		175	350	150	877	766	4.00	0.15

3.2 練混ぜ

練混ぜは、容量100Lの二軸錦練ミキサを用いて、1バッチ100Lとして2分間練混ぜ、ミキサ内で3分間静置後、1分間再攪拌し、練り舟で排出後、各種試験に供した。

キーワード : 流動コンクリート, 2層流れ, レオロジー定数, 管型粘度計, 加圧ブリーディング試験

連絡先 : 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 TEL. 047-474-2470

3.3 管型粘度計の諸元

実験に用いた装置は、図2に示すようであって、試料容器、排出管、圧送管、圧力センサ、流量測定用秤、水平架台及びコンプレッサから構成されている。

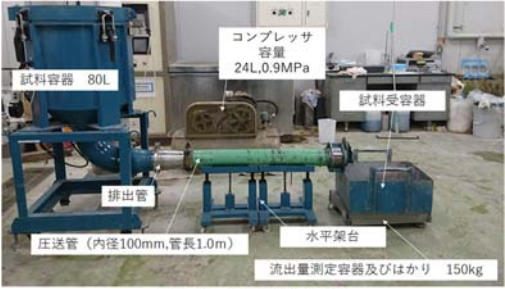


図.2 管型粘度計

3.4 測定方法実験

3.4.1 管型粘度計による流量の測定

流量は、管型粘度計を用いて、目標圧送圧力を5, 15及び25kPaとしてコンクリートを圧送し、コンクリートの単位時間当たりの流出量を単位容積質量で除して求めた。

3.4.2 回転粘度計によるレオロジー定数の測定

レオロジー定数の測定は、内円筒半径20cm、高さ20cm、外円筒半径30cm、深さ30cmの共軸二重円筒型の回転型粘度計を用い、多点法によって行った。

3.4.3 脱水量の測定

管内で受ける圧力により自由水が管壁に滲みでるとし、その脱水量から膜厚を間接測定するため、JSCE-F502「加圧ブリーディング試験方法(案)」に規定されている加圧ブリーディング試験装置を用いて、容器内のコンクリート圧力が1.5, 2.5及び3.5MPaとなるように、圧縮試験機にて载荷し、圧力を保持した状態で、脱水量の推移を測定した。

4. 実験結果および考察

管型粘度計における流量測定結果を回転粘度計によるレオロジー定数の測定結果と共に表3に示す。また、水の膜厚のニュートン法による予測値と圧力勾配との関係を図3に示した。この図より、水の膜厚に対する圧力勾配の影響は比較的小さいことが分かる。次に、加圧ブリーディング試験装置を用いて測定した脱水量より推定した水膜の推定値と単位水量の関係を図4に示す。この結果によれば、両者は直線関係となった。また、コンクリートの加圧脱水量の推移(測定開始後2分以内)を図5に示すが、脱水量は加圧圧力が高いほど、また脱水時間が長いほど大きくなる傾向を示している。しかし、y軸との切片(脱水時間0秒)における脱水量には殆ど差異はないことから図3で得られた試験結果を裏付けていると考えた。そこで図5における加圧圧力1.5~3.5MPaのt=0の値の平均値を求め、これを容器内試料の表面積で除した値を水の膜厚の推定値とし、表3の右側欄に示した。同様に単位水量170, 175kg/m³の場合も求めた。その結果、水の膜厚の推定値(平均値)は、ニュートン

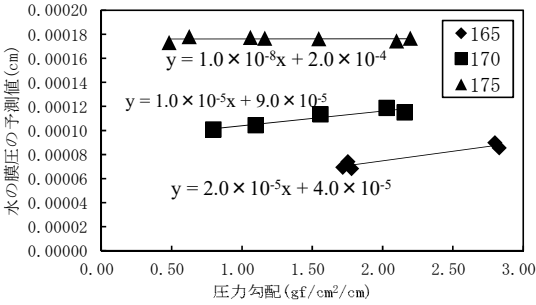


図.3 水の膜厚と圧力勾配との関係

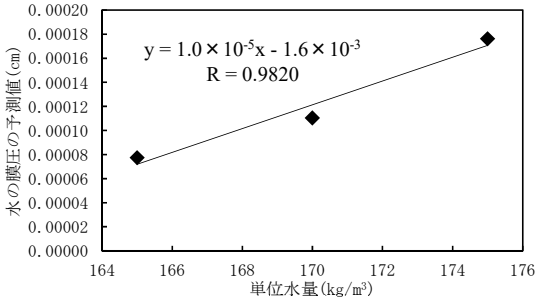


図.4 水の膜厚と単位水量との関係

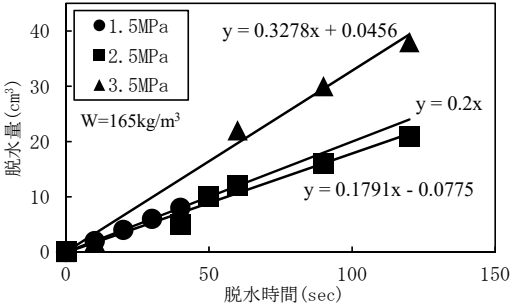


図.5 加圧脱水量の推移

表.3 流量測定結果および水の膜厚の推定

単位水量 (kg/m³)	圧力勾配 (gf/cm²/cm)	実測流量 (cm³/s)	塑性粘度 (gf・s/cm²)	降伏値 (gf/cm²)	膜厚の 予測値 (cm) ^{注1)}	膜厚の推定値 (cm) ^{注2)}	比 ^{注3)}
165	1.716	2325.1	4.67	2.13	6.940 × 10 ⁻⁵	7.52 × 10 ⁻⁵	0.974
	1.751	2535.7			7.418 × 10 ⁻⁵		
	2.175	3069.8			7.197 × 10 ⁻⁵		
	2.270	3564.3			8.016 × 10 ⁻⁵		
	2.826	4746.6			8.558 × 10 ⁻⁵		
	平均値				7.720 × 10 ⁻⁵		
170	平均値		2.25	1.06	1.222 × 10 ⁻⁴	9.70 × 10 ⁻⁵	0.800
175	平均値		0.81	0.61	1.750 × 10 ⁻⁴	1.72 × 10 ⁻⁵	0.981

注1) 膜厚の予測値：ニュートン法で求めた膜厚、注3) 比：試験値/予測値
注2) 膜厚の推定値：加圧脱水試験結果を試料表面積で除して求めた値

ン法によって求めた予測値と近似した値となっており、管内流動解析のモデルとして2層流れが適用できると判断した。

5. まとめ

本検討で得られた知見は以下の通りである。

- 1) ニュートン法による膜厚の予測値と加圧ブリーディング試験より求めた脱水量により推定した水膜の厚さはほぼ近似した値となる。
- 2) 1)のことから管内流動解析のモデルとして2層流れが適用できることを示した。

参考文献

- 1) 村田, 菊川: まだ固まらないコンクリートのレオロジー定数法に関する一提案, 土木学会論文集, 第 284号, 1979年4月。